



TUGAS AKHIR – RC141501

**PERENCANAAN ULANG LAYOUT RUNWAY
BANDAR UDARA SYAMSUDIN NOOR
BANJARMASIN YANG DIDASARKAN PADA
HASIL ANALISIS AIRPORT GIS FAA**

ADHYAKSA ADHA RAHMAN
NRP 3111 100 146

Dosen Pembimbing I
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Istiar, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC141501

**PERENCANAAN ULANG LAYOUT RUNWAY
BANDAR UDARA SYAMSUDIN NOOR
BANJARMASIN YANG DIDASARKAN PADA
HASIL ANALISIS AIRPORT GIS FAA**

ADHYAKSA ADHA RAHMAN
NRP 3111 100 146

Dosen Pembimbing I
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Istiar, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC141501

**REDESIGN OF RUNWAY LAYOUT OF
SYAMSUDIN NOOR AIRPORT BANJARMASIN
BASED ON ANALYSIS USING FAA AIRPORT GIS**

ADHYAKSA ADHA RAHMAN
NRP 3111 100 146

Supervisor
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.

Co-Supervisor
Istiar, ST., MT.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**PERENCANAAN ULANG LAYOUT RUNWAY BANDAR
UDARA SYAMSUDIN NOOR BANJARMASIN YANG
BERDASARKAN PADA HASIL ANALISIS AIRPORTS GIS
FAA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

ADHYAKSA ADHA RAHMAN

NRP: 3111 100 146

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.

2. Istiar, ST., MT

**DEPARTEMEN
TEKNIK SIPIL**

**SURABAYA
JULI, 2017**

**PERENCANAAN ULANG LAYOUT RUNWAY BANDAR
UDARA SYAMSUDIN NOOR BANJARMASIN YANG
DIDASARKAN PADA HASIL ANALISIS AIRPORTS GIS
FAA**

Nama Mahasiswa : Adhyaksa Adha Rahman
NRP : 3111100146
Jurusan : S1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.
NIP : 196902241995122001
Dosen Pembimbing 2 : Istiar, ST., MT.
NIP : 197711052012121001

ABSTRAK

Banjarmasin adalah ibu kota Provinsi Kalimantan Selatan. Sebagai pusat dari provinsi Kalimantan Selatan, semestinya fasilitas transportasi antar kota, pulau maupun negara di kota tersebut mampu menangani permintaan jasa transportasi dengan baik. Kegiatan transportasi bersumber dari kebutuhan mayoritas yang beragama Islam sehingga membutuhkan transportasi kegiatan haji, maupun investasi dan pariwisata

Penentuan arah runway sebelumnya didasarkan pada analisis frekuensi dan kecepatan angin dominan pada daerah tersebut. Hasil analisis angin bandar udara Syamsudin Noor Banjarmasin adalah dominan pada 2 arah derajat azimuth, yaitu 100 - 280 dan 135 – 215. Diketahui bahwa dua arah tersebut tidak mencapai prosentase 95% cakupan, yang menurut ketentuan FAA pada Appendix 2 AC 150/5300-13A mengharuskan adanya runway pada arah angin dominan hingga prosentase 95% cakupan angin tercapai. Hal ini menunjukkan kebutuhan runway kedua. Dengan didapatkannya literatur dari FAA tentang penggunaan Airports GIS untuk analisis arah runway, maka

Tugas Akhir ini mencoba untuk merencanakan ulang arah runway.

Pertama, dilakukan studi literatur mengenai peraturan yang berlaku dan subyek. Kedua, dilaksanakan pengumpulan data seperti data lingkungan dan pergerakan pesawat. Selanjutnya ditentukan kapasitas pergerakan pesawat runway eksisting. Setelah itu, diramalkan tahun pertumbuhan pergerakan pesawat melebihi kapasitas runway. Langkah berikutnya adalah menentukan arah runway dari analisis windrose menggunakan program javascript ALL_WEATHER Wind Rose Form oleh FAA. Sistem runway didapatkan menyesuaikan arah. Terakhir, Runway dan taxiway baru direncanakan.

Hasil menunjukkan runway eksisting 10 – 28 memenuhi persyaratan 95% cakupan angin. Didapatkan kebutuhan runway baru pada tahun 2043. Runway kedua direncanakan berdimensi 3326 x 45 m dengan pemisahan 1035 m.

Kata kunci : Bandara, Runway, Pertambahan Runway, Bandara Syamsudin Noor. Airports GIS

REDESIGN OF RUNWAY LAYOUT OF SYAMSUDIN NOOR AIRPORT BANJARMASIN BASED ON ANALYSIS USING FAA AIRPORTS GIS

Student : Adhyaksa Adha Rahman
NRP : 3111100146
Department : S1 Teknik Sipil
Supervisor : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.
NIP : 196902241995122001
Co-Supervisor : Istiar, ST., MT.
NIP : 197711052012121001

ABSTRACT

Banjarmasin is the capital of South Kalimantan Province. As the center of South Kalimantan province, its' inter-city, inter-island and international transportation facilities should be able to handle the demand for transportation services properly. Transportation activities come from the needs of the majority of the population whom are Muslims, requiring transportation for hajj, as well as investment and tourism

Determination of the orientation of the previous runway is based on the analysis of frequency and wind speed dominant in the area. The result of the wind analysis of Syamsudin Noor Airport Banjarmasin is that it's dominant in 2-way azimuth degrees, 100 - 280 and 135 - 215. It's also known that each doesn't reach 95% percentage of coverage, which according to FAA provisions in Appendix 2 AC 150/5300-13A requires runways in the dominant wind direction until 95% coverage is reached. This indicates the need for a second runway. Given FAA's literature on using the Airports GIS for analysis of runway orientation, this Final Project tries to redesign the runway.

First, a literature study of applicable regulations and subjects is conducted. Secondly, data such as environmental data

and aircraft movement are collected. Then, the capacity of existing runway aircraft is determined. After that,, the year when aircraft movements exceeds runway capacity is predicted. The next step is to determine the orientation of the runway from windrose analysis using the ALL_WEATHER Wind Rose Form javascript program by FAA. Runway system is then adjusted to runway orientation. Finally, the new Runway and taxiway are designed.

The results show that the existing 10 - 28 runway meets the 95% requirement of wind coverage. The requirement for additional runway is in 2043. The second runway is designed to have the dimension of 3326 x 45 m with 1035 m separation.

Keywords: Airport, Runway, Runway Increase, Taxiway, Exit Taxiway, Airports GIS

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, nikmat dan anugerah yang diberikan dan bimbingan Nabi Muhammad SAW untuk menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perencanaan Ulang Layout Runway Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin yang Didasarkan Pada Hasil Analisis Airports GIS FAA.” ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pekerjaan tugas akhir ini hingga dapat terselesaikan, antara lain kepada :

1. Bapak dan Ibu penulis yang senantiasa memberikan dukungan moral dan finansial terhadap penulis.
2. Ibu Ir. Ervina Ahyudanari ME., Ph.D. selaku dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dan dosen pembimbing saya yang telah mengarahkan, memberi masukan, dan membimbing saya dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Istiar ST., MT. selaku dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dan dosen pembimbing kedua yang telah memberikan masukan dalam tugas akhir ini.
4. Bapak Dr., Ir. Hidayat Soegihardjo M.S. selaku dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dan dosen wali saya yang memotivasi saya selama masa perkuliahan.
5. Ridwan Sauqi, Satriyo dan segenap teman dan kerabat yang telah membantu penulisan dengan dukungan teknis dan moral.
6. Penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan, terima kasih atas segala kritik dan saran-sarannya. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Penulis

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Daftar Isi

Abstrak.....	i
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xvi
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
1.7 Lokasi Studi	7
BAB II Tinjauan Pustaka	9
2.1 Runway	9
2.1.1 Sistem Runway.....	10
2.1.2 Panjang Runway.....	16
2.1.3 Lebar Runway	16
2.1.4 Jarak Pemisahan Runway	19
2.1.5 Runway Strip	19
2.1.6 Penomoran Runway	21
2.1.7 Marka Batas Runway	21
2.1.8 Marka Garis Tengah (Centerline)	23
2.1.9 Marka Titik Sasaran	23

2.1.10. Marka Zona Touchdown	23
2.1.11. Marka Sisi Runway	23
2.1.12. Fasilitas Runway Rencana.....	24
2.1.13 Marka Blast Pad	25
2.1.14. Lingkungan Lapangan Terbang.....	26
2.1.14.1 Temperatur	26
2.1.14.2 Ketinggian Lapangan Terbang	27
2.1.14.3 Kemiringan Landasan (Runway Gradient).....	27
2.2 <i>Taxiway</i> dan <i>Exit Taxiway</i>	28
2.3 Marka Garis Tengah dan Tepi Taxiway	32
2.4 Marka Taxiway Hold.....	33
2.5 Marka Bahu Taxiway	34
2.6 Dimensi Apron	35
2.7 Metode Analisis Windrose	37
2.8 Teknik Regresi Untuk Analisis Pola Pergerakan PesawatMarka Bahu Taxiway	43
2.9 Analisis Model Regresi	43
2.10 <i>Runway Occupancy Time</i> (ROT).....	45
2.11 Metode Perhitungan Jam Puncak	46
2.12 Perumusan Matematis Kapasitas Jenuh.....	47
2.12.1 Pengembangan Model Untuk Kedatangan (<i>Arrivals Only</i>)	48
2.12.1.1 Keadaan Bebas Kesalahan.....	48
2.12.1.1.1 Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$).....	50
2.12.1.1.2 Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$).....	50
2.12.1.2 Perhitungan Mengenai Kesalahan Posisi.....	51

2.12.1.2.1 Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$).....	52
2.12.1.2.2 Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$).....	54
2.12.2 Pengembangan Model untuk Keberangkatan (<i>Departures Only</i>)	55
2.12.3 Pengembangan Model-Model untuk Operasi Campuran ..	56
2.13 Evaluasi Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin dalam Memfasilitasi Pertumbuhan Pergerakan Pesawat.....	58
BAB III Metodologi	61
3.1 Studi Literatur	61
3.2 Pengumpulan Data Sekunder	61
3.3. Analisis Data	62
3.3.1 Letak dan Arah <i>Runway</i> Rencana.....	62
3.3.2 Peramalan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat	63
3.3.3 Perencanaan <i>Runway</i> , <i>Exit Taxiway</i> dan <i>Taxiway</i>	63
3.4 Evaluasi Kapasitas Runway Setelah Penambahan	64
3.5 Diagram Alir Metode Penelitian	64
BAB IV Pengumpulan dan Analisis Data	69
4.1 Penentuan Arah dan Letak Runway	69
4.1.1 Analisis <i>Windrose</i>	69
4.1.1.1 Umum.....	69
4.1.2 Analisis Windrose Bandara Syamsudin Noor	71
4.2 Peramalan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat dan Tahun Kebutuhan <i>Runway</i> Kedua	79
4.2.1 Analisis Pergerakan Pesawat Masa Lampau	79

4.2.2 Peramalan Pergerakan Pesawat di Masa Depan	104
4.2.3 Analisis Kapasitas <i>Runway</i> Eksisting	108
4.2.3.1 Kedatangan Saja	113
4.2.3.2 Keberangkatan Saja	118
4.2.3.3 Operasi Campuran	119
4.2.4 Analisis Peramalan Pergerakan Pesawat Saat Jam Puncak	124
4.3 Perencanaan <i>Runway</i> , <i>Exit Taxiway</i> dan <i>Taxiway</i>	132
4.3.1 Sistem <i>Runway</i> Rencana	133
4.3.2 Jarak Pemisahan <i>Runway</i> Parallel	134
4.3.3 Panjang <i>Runway</i> Rencana	134
4.3.4 Lebar <i>Runway</i> Rencana	137
4.3.5 Jarak Holdline <i>Runway</i> Rencana	137
4.3.6 Arah <i>Runway</i> Rencana	137
4.3.7 Penomoran <i>Runway</i> Rencana	138
4.3.8 Fasilitas <i>Runway</i> Rencana	138
4.3.8.1 <i>Blast Pad/Stopway</i>	138
4.3.8.2 <i>Holding Bay</i>	138
4.3.9 Dimensi <i>Taxiway</i>	138
4.3.10 Bahu <i>Taxiway</i>	139
4.3.11 <i>Fillet Taxiway</i>	139
4.3.12 <i>Runway Strip</i>	139
4.3.13 <i>Runway End Safety Area</i>	139
4.3.12 <i>Clearway</i>	140
4.3.12 Kemiringan Memanjang Maksimum <i>Runway</i>	141
4.3.12 Kemiringan Melintang <i>Runway</i>	143

4.3.12 Marka Batas <i>Runway</i>	144
4.3.12 Marka Zona <i>Touchdown</i>	144
4.16 <i>Exit Taxiway</i>	144
4.3.12 Marka <i>Taxiway Hold</i>	148
4.4 Resume Perbandingan Analisis.....	148
BAB V Evaluasi Kapasitas <i>Runway</i> Setelah Penambahan..	151
5.1. Peramalan Jumlah Pembagian Pergerakan Pesawat.....	151
5.2. Perhitungan Kapasitas <i>Runway</i> Rencana.....	152
5.2.1 Keadaan Operasi Campuran.....	152
5.2.2 Kapasitas <i>Runway</i> Rencana dan Eksisting.....	152
BAB VI Penutup.....	155
6.1 Kesimpulan.....	155
6.2 Saran.....	156
Lampiran 1.....	159
Lampiran 2.....	161
Lampiran 3.....	163
Daftar Pustaka.....	165
Biodata Penulis.....	167

Daftar Gambar

Gambar 1.1: Lokasi Bandar Udara Symasudin Noor	7
Gambar 1.2: Lokasi Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin	8
Gambar 2.1: Sistem <i>Runway</i> Tunggal (Single)	11
Gambar 2.2: Sistem <i>Runway</i> Paralel	11
Gambar 2.3: Sistem <i>Runway</i> Berpotongan (Intersecting) .	12
Gambar 2.4: Sistem <i>Runway</i> V terbuka	12
Gambar 2.5: Gambar <i>Runway</i> Eksisting pada Bandara Syamsudin	13
Gambar 2.6: Contoh <i>runway</i> bersimpang (intersecting <i>runway</i>) dengan simpang di dekat ambang pendaratan dan batas lepas landas	15
Gambar 2.7: Panjang <i>Runway</i> Minimum Boeing 737-900 Berdasarkan Berat Mendarat	17
Gambar 2.8: Panjang <i>Runway</i> Boeing 737-900 Berdasarkan Berat Lepas Landas	18
Gambar 2.9: Marka Batas <i>Runway</i> Terpindah	22
Gambar 2.10: Syarat Dimensi Marka Blast Pad dan Stopway	26
Gambar 2.11: Letak Dimensi Fillet Taxiway	31
Gambar 2.12: Tampak Radius Fillet Taxiway	32
Gambar 2.13: Persyaratan Marka Garis Tengah dan Tepi Taxiway	33
Gambar 2.14: Persyaratan Holdline Taxiway	34
Gambar 2.15: Dimensi dan Ilustrasi Marka Bahu Taxiway	35
Gambar 2.16: Potongan melintang runway, taxiway dan apron	36
Gambar 2.17: Windrose dengan template pada arah 30 – 210 derajat azimuth	39

Gambar 2.18: Wind rose dengan template pada arah 30 – 210 dan 90 – 270	40
Gambar 2.19: Antarmuka ALL_WEATHER Wind Rose Form Di Airport GIS oleh FAA	41
Gambar 2.20: Contoh hasil analisis wind rose program bantu desain bandara ALL_WEATHER Wind Rose Form FAA	42
Gambar 3.1: Diagram alir pengerjaan tugas akhir	65
Gambar 3.2: Diagram Alir Langkah 3.3.1 Letak dan Arah Runway Rencana	66
Gambar 3.3: Diagram Alir Langkah 3.3.2 Peramalan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat	67
Gambar 3.4: Diagram Alir Langkah 3.3.3 Perencanaan Runway, Exit Taxiway, dan Taxiway	68
Gambar 4.1: Grafik Analisis Windrose Dua Arah Menggunakan Airport ALL_WEATHER Wind Rose Form FAA	75
Gambar 4.2: Wind Rose Hasil Analisis Airport GIS ALL_WEATHER Wind Rose Form FAA	76
Gambar 4.3: Grafik A2-1 AC 150/5300 FAA Untuk Menentukan Komponen Crosswind	77
Gambar 4.4: Analisis grafis crosswind dari arah 120 derajat azimuth dengan kecepatan 16 knot (garis oranye)	78
Gambar 4.5: Grafik Pergerakan Pesawat Kedatangan rute Domestik Bandara Syamsudin Noor Tahun 2011 – 2015 ..	80
Gambar 4.6: Grafik Pergerakan Pesawat Keberangkatan Rute Domestik Bandara Syamsudin Noor Tahun 2011-2015	81

Gambar 4.7: Grafik Pergerakan Pesawat Kedatangan Rute Internasional Bandara Symasudin Noor Tahun 2011-2015	81
Gambar 4.8: Grafik Pergerakan Pesawat Keberangkatan Rute Internasional Bandara Symasudin Noor Tahun 2011-2015	82
Gambar 4.9: Grafik Regresi Kedatangan Domestik Linear Tahun 2011-2015	83
Gambar 4.10: Grafik Regresi Kedatangan Domestik Polinomial Tahun 2011-2015	83
Gambar 4.11: Grafik Regresi Keberangkatan Domestik Linear Tahun 2011-2015	84
Gambar 4.12: Grafik Regresi Keberangkatan Domestik Polinomial Tahun 2011-2015	84
Gambar 4.13: Grafik Regresi Kedatangan Internasional Linear Tahun 2011-2015	85
Gambar 4.14: Grafik Regresi Kedatangan Internasional Polinomial Tahun 2011-2015	85
Gambar 4.15: Grafik Regresi Keberangkatan Internasional Linear Tahun 2011-2015.....	86
Gambar 4.16: Grafik Regresi Keberangkatan Internasional Polinomial Tahun 2011-2015	86
Gambar 4.17: Output Normality test untuk data penerbangan domestic tahun 2011-2014	93
Gambar 4.18: Data Sebaran Pergerakan Pesawat Kedatangan Internasional Tahun 2011-2014	100
Gambar 4.19: Grafik PDRB ADHK Dan Regresi Polynomial Ordo Kedua	102
Gambar 4.20: Grafik Peramalan Pergerakan Internasional Keberangkatan	106
Gambar 4.21: Grafik Peramalan Pergerakan Domestik Kedatangan	107

Gambar 4.22: Grafik Peramalan Pergerakan Domestik Keberangkatan	108
Gambar 4.23: Pengelompokkan pesawat untuk pemisahan satu runway	109
Gambar 4.24: Visualisasi penggunaan pesawat di runway sama	110
Gambar 4.25: Visualisasi Pemisahan Antar Pesawat di Runway Sama	110
Gambar 4.26: Keberadaan Exit Taxiway Bandara Syamsudin Noor Dibandingkan Posisi Runway	121
Gambar 4.27: Grafik Model Regresi Linear Pergerakan Pesawat Total pada Jam Puncak	131
Gambar 4.28: Pergerakan Pesawat Pada Jam Puncak di Tahun Mendatang dan Kapasitas Eksisting Untuk Berbagai Kondisi	132

Daftar Tabel

Tabel 1.1: : Prosentase Hembusan Angin dan Rekomendasi Landasan Pacu Kedua Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin	2
Tabel 2.1: Konfigurasi <i>Runway</i> dan Kapasitasnya	16
Tabel 2.2: Penentuan Lebar <i>Runway</i> (Width) Berdasarkan Code Number	18
Tabel 2.3: Standar Pemisahan Untuk Pesawat Kategori Approach C & D	19
Tabel 2.4: Kebutuhan Dimensi <i>Runway Strip</i>	20
Tabel 2.5: Persyaratan Baris Marka Batas <i>Runway</i>	21
Tabel 2.6: Jumlah Baris Marka Zona Touchdown pada Masing-Masing Sisi <i>Runway</i>	24
Tabel 2.7: Dimensi Stopway	25
Tabel 2.8: Dimensi Holding Bay	25
Tabel 2.9: Dimensi Taxiway	28
Tabel 2.10: Dimensi Fillet Taxiway	30
Tabel 2.11: Radius Fillet Taxiway	31
Tabel 2.12: Taxiway Shoulder Minimum	32
Tabel 2.13: Persyaratan Jarak Holdline ke Centerline <i>Runway</i>	34
Tabel 2.14: Tabel Dimensi yang Dibutuhkan pada Apron	37
Tabel 2.15: Jarak Pemisahan Pesawat di Apron (Dirjen Perhubungan Udara)	37
Tabel 4.1: Kejadian angin pada kecepatan dan mata angin tertentu per jam di bandara Syamsudin Noor (WAOO) pada tahun 2006 s.d 2015	70
Tabel 4.2: Tabel penentuan AAC	72
Tabel 4.3: Tabel ADG dan RVR	72
Tabel 4.4: Rekapitulasi Klasifikasi Pesawat Boeing 747	73

Tabel 4.5: Komponen Crosswind untuk berbagai RDC	73
Tabel 4.6: Rekapitulasi Analisis Wind Rose Untuk Arah Angin Dengan Interval 5 Derajat Azimuth	74
Tabel 4.7: Rekapitulasi perhitungan komponen crosswind berbagai macam pesawat di bandara Syamsudin Noor	77
Tabel 4.8: Rekapitulasi Pergerakan Pesawat Kedatangan Bandara Syamsudin Noor Tahun 2011 – 2015	80
Tabel 4.9: Rekapitulasi Pergerakan Pesawat Keberangkatan Bandara Syamsudin Noor Tahun 2011 – 2015	80
Tabel 4.10: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Domestik untuk Kedatangan	87
Tabel 4.11: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Domestik untuk Keberangkatan	87
Tabel 4.12: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Internasional untuk Kedatangan	87
Tabel 4.13: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Internasional untuk Keberangkatan ...	88
Tabel 4.14: Perhitungan standard error, batas kesalahan dan perbandingannya dengan R2	93
Tabel 4.15: Output Normality Test Data 2011-2015	92
Tabel 4.16: Rekapitulasi Perhitungan Selang Toleransi Regresi.....	95
Tabel 4.17: Rekapitulasi Parameter Statistik Regresi Pergerakan Pesawat	98
Tabel 4.18: Data Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan Provinsi Kalimantan Selatan.	102
Tabel 4.19: Paramter statistic model regresi linear	103
Tabel 4.20: Parameter statistic model regresi PDRB vs. Penerbangan Internasional Rute Kedatangan	105
Tabel 4.21: Fungsi Regresi Untuk Peramalan Pergerakan Pesawat	106

Tabel 4.22: Rekap Pergerakan Pesawat Tanggal 2 November 2013 di Bandara Syamsudin Noor	108
Tabel 4.23: Jadwal Penerbangan Kedatangan Pesawat Tanggal 2 November 2013 pukul 12:00 – 12:59	111
Tabel 4.24: Jadwal Penerbangan Keberangkatan Pesawat Tanggal 2 November 2013 pukul 12:00 – 12:59	111
Tabel 4.25: Kecepatan Pesawat Kelompok Approach	113
Tabel 4.26: Matriks probabilitas [pij]:	114
Tabel 4.27: Matriks waktu pemisahan minimum [Tij] ...	115
Tabel 4.28: Matriks Buffer waktu pemisahan [Bij]	117
Tabel 4.29: Matriks waktu antarkeberangkatan [tij]	119
Tabel 4.30: Matriks probabilitas	119
Tabel 4.31: Variabel Independen Untuk Perhitungan ROT Pesawat 2 November 2013	121
Tabel 4.32: Rekapitulasi Hasil Perhitungan ROT	122
Tabel 4.33: Mix Pesawat di Runway pada 2 November 2013	122
Tabel 4.34: Matriks probabilitas [pij] untuk operasi campuran	123
Tabel 4.35: Pergerakan Pesawat Total Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin (Angkasa Pura)	125
Tabel 4.36: Rasio Pergerakan Pesawat Total Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin	126
Tabel 4.37: Jumlah Pergerakan Pesawat Semua Hari Bulan November 2013	127
Tabel 4.38: Rasio Hari Puncak Bulan November 2013 ..	127
Tabel 4.39: Jenis Rasio dan Rasionya	128
Tabel 4.40: Peramalan Pergerakan Pesawat Bandara Internasional Syamsudin Noor Banjarmasin Hingga 2035 (n = 25)	128
Tabel 4.41: Hasil Perhitungan Jumlah Penerbangan Pada Bulan Puncak di Tahun Mendatang	129

Tabel 4.42: Hasil Perhitungan Jumlah Penerbangan Pada Hari Puncak di Tahun Mendatang	130
Tabel 4.43: Hasil Perhitungan Jumlah Penerbangan Pada Jam Puncak di Tahun Mendatang	130
Tabel 4.44: Penentuan ARC (ICAO)	136
Tabel 4.45: Persyaratan Dimensi RESA	140
Tabel 4.46: Persyaratan Kemiringan Memanjang Runway	141
Tabel 4.47: Kurva Kemiringan Memanjang	142
Tabel 4.48: Nilai Koefisien k	142
Tabel 4.49: Kemiringan Melintang Runway	143
Tabel 4.50: Kecepatan dan Perlambatan Pesawat berdasarkan kategori Approach	145
Tabel 4.51: Jarak ujung runway ke titik touchdown (D1) dan jarak titik touchdown ke lokasi exit taxiway (D2)	147
Tabel 4.52: Jarak ujung runway ke titik touchdown (D1) dan jarak titik touchdown ke lokasi exit taxiway (D2) terkoreksi	147
Tabel 4.53: Jarak total ujung runway ke lokasi exit taxiway	148
Tabel 4.54: Perbedaan Hasil Analisis Tugas Akhir dan Penelitian Sebelumnya	148
Tabel 5.1: Peramalan Pergerakan Jam Puncak pada Tahun 2043	152

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bandara Udara Syamsudin Noor terletak pada Kecamatan Landasan Ulin, Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Bandara ini dibangun dengan nama Lapangan Terbang Ulin pada tahun 1936. Pada masa kependudukan Jepang dan NICA, lapangan terbang ini sempat beroperasi sebagai bandara militer, yang kemudian diganti namanya sebagai nama salah satu pahlawan nasional setelah berdirinya RIS. Bandara ini lalu dialihfungsikan sebagai bandara sipil pada 9 April 1970 (Wikipedia, 2016). Sekarang Bandara Syamsudin Noor melayani berbagai rute domestik dan satu internasional dengan tiga belas maskapai penerbangan nasional, dengan kapasitas penumpang sebesar 3,013.191 penumpang (Wikipedia, 2016).

Banjarmasin adalah ibu kota Provinsi Kalimantan Selatan. Sebagai pusat dari provinsi Kalimantan Selatan, semestinya fasilitas transportasi antar kota, antar pulau, maupun antar negara di kota tersebut mampu menangani jumlah permintaan jasa transportasi dengan baik. Di Kota Banjarmasin maupun keseluruhan Provinsi Kalimantan Selatan, terdapat kegiatan ekonomi dan non-ekonomi yang bergantung pada fasilitas transportasi dengan pelayanan yang baik. Kegiatan tersebut bersumber dari demografi penduduk yang mayoritas beragama Islam sehingga membutuhkan transportasi kegiatan haji, maupun keperluan investasi dan pariwisata. Selain itu perlu juga diketahui bahwa sejak tahun 2010, Bandara Syamsudin Noor adalah bandara dengan wisatawan haji terbanyak di Indonesia (Wikipedia, 2016), sehingga seyogyanya pemerintah menyediakan fasilitas yang dapat melayani masyarakat.

Penentuan lokasi *runway* tergantung pada analisis frekuensi dan kecepatan angin yang dominan pada daerah tersebut. Ocherudy (2016) telah melakukan analisis windrose pada Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin dan menyimpulkan bahwa arah

angin dominan berada pada arah derajat azimuth 100 - 280 dan 135 - 215. Tabel 1.1 mengilustrasikan prosentase frekuensi berbagai kecepatan angin pada bandara dengan arah azimuth yang berbeda dan rekomendasi arah angin untuk *runway* rencana. Dapat diketahui dari tabel tersebut bahwa pada Bandara Syamasudin Noor terdapat arah angin dominan lebih dari satu. Seperti diketahui bahwa pesawat terbang memerlukan angin dari arah berlawanan untuk proses take-off. Hal ini agar pesawat mendapatkan energi angkat yang diperlukan pada kecepatan tertentu. Ketika arah angin berhembus berubah-ubah dari arah angin satu ke lainnya, maka pesawat terbang semestinya selalu bergerak berlawanan dengan arah angin tersebut. Hal ini tentu tidak dapat dilakukan apabila *runway* berjumlah satu. Pemahaman tersebut menunjukkan kebutuhan *runway* pada beberapa arah yang berbeda. Hal ini disebabkan frekuensi angin berhembus tidak hanya pada satu arah saja.

Tabel 1.1: Prosentase Hembusan Angin dan Rekomendasi Landasan Pacu Kedua Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin (Ocherudy, 2016)

Arah	Kecepatan Angin (knot)					Total
	0-10	11-16	17-21	22-27	>28	
0 - 180	34,7%	17,73%	6,75%	0,49%	0,49%	60,20%
45 - 225	34,7%	18,82%	11,23%	1,23%	0%	66,01%
90 - 270	34,7%	21,67%	10,64%	0%	0,25%	67,29%
100 - 280	34,7%	20,70%	12,81%	1,18%	0,25%	69,67%
135 - 315	34,7%	19,80%	10,54%	5,91%	0,25%	71,23%
175 - 355	34,7%	19,15%	8,13%	0,49%	0,49%	62,99%

= rekomendasi landas pacu 2

= eksisting

Airports GIS (Airports Geographical Information System)
 FAA adalah satuan alat perangkat lunak yang dikembangkan oleh

FAA. Satuan software ini bertujuan untuk memfasilitasi pengumpulan data bandara dan aeronautika untuk sistem ruang udara Negara Amerika serikat generasi selanjutnya. Hingga November 2016 saat tugas akhir ini dikerjakan, terdapat berbagai data angin dari banyak Bandar udara di dunia. Satuan *software* ini juga mempunyai perangkat analisis windrose semua musim bernama ALL_WEATHER Wind Rose Form. Perangkat ini mempunyai keluaran hasil analisis windrose dengan hasil numerik dan grafik. Input yang dibutuhkan dari perangkat tersebut adalah file .PRN, yaitu data angin yang didapatkan dari perangkat Windrose Rose Form. Proses analisis windrose menggunakan satuan software ini tidak ada perbedaan dengan analisis menggunakan metode manual. Hanya saja, program ini lebih mudah dalam penggunaannya sebab berbagai faktor analisis yang bisa diubah sesuai keinginan. Contohnya adalah jika pengguna ingin mengubah crosswind yang dibolehkan pada *runway*, maka pengguna dapat mengganti kolom isian *Crosswind Component*. Proses tersebut jauh lebih mudah dari mengganti template pada metode manual. Pada intinya, Airports GIS memudahkan analisis windrose untuk perencanaan *runway*.

Dipilihnya topik tugas akhir ini ialah karena dibutuhkannya *runway* kedua pada bandara Syamsudin Noor Banjarmasin berdasarkan analisis windrose pada tugas akhir sebelumnya. Begitupun, pada tugas akhir ini akan dilakukan windrose dengan metode yang berbeda dari sebelumnya, yaitu dengan menggunakan Airports GIS FAA. Metode ini dipakai untuk memudahkan proses analisis serta sebagai informasi perihal penggunaan Airports GIS FAA. Agar sebagai acuan penggunaan *software* tersebut, maka perencanaan akan mengikuti hasil analisis Airports GIS FAA. Pada tugas akhir ini juga dianalisis periode diperlukannya perkiraan kebutuhan penambahan *runway*, agar saat masa kebutuhan *runway* datang, pemerintah dapat mulai membangun *runway* untuk mengakomodasi penerbangan di bandara. Masa sekarang, sistem single *runway* mungkin masih dapat melayani 13 keberangkatan dan kedatangan (Angkasa Pura, 2016) setiap harinya, namun pada

masa mendatang bandara akan membutuhkan lebih dari satu *runway*. Frekuensi angin pun menjadi masalah karena seperti dipaparkan sebelumnya, bahwa pesawat terbang melawan arah angin dan tentu saja ketika jadwal penerbangan menuntut pesawat untuk terbang pada saat arah angin berhembus di arah berbeda, maka landasan pacu harus mengakomodasi hal itu; diperlukan *runway* pada arah tersebut. Dibutuhkan pula pemilihan tipe system *runway* yang sesuai dengan letak dan arah kedua *runway* ketika penambahan diperlukan. Perlu diingat pula bahwa pada analisis windrose dilakukan menggunakan program web javascript oleh FAA yaitu ALL_WEATHER Wind Rose Form yang masuk dalam komponen Airports GIS FAA. Maka dari itu dilakukanlah perencanaan ulang layout *runway* Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin berdasarkan analisis windrose Airports GIS FAA.

1.2. Rumusan Masalah

Kondisi single *runway* di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin mungkin disebabkan oleh pertimbangan bahwa *runway* masih dapat menampung jumlah penerbangan akibat minimalnya demand penerbangan. Walaupun begitu, dari studi sebelumnya oleh Ocherudy (2016) telah jelas bahwa dibutuhkan dua *runway* untuk mengakomodasi arah angin dominan. Berdasarkan hal tersebut, perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik arah angin di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin ditinjau dari arah, besaran, dan frekuensi anginnya?
2. Bagaimana karakteristik pergerakan pesawat di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin dilihat dari tipe pesawat dan jadwal terbangnya?
3. Bagaimana kapasitas *runway* Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin saat ini?
4. Kapan pergerakan pesawat Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin melebihi kapasitas *runway* eksisting?

5. Bagaimana menentukan letak *runway* rencana Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin menurut analisis windrose?
6. Bagaimana menentukan sistem *runway* rencana Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin?
7. Bagaimana menentukan dimensi *runway*, *exit taxiway* dan *taxiway* baru di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin?
8. Bagaimana kapasitas *runway* eksisting dan *runway* rencana Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin setelah ada penambahan *runway*?

1.3. Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan analisis data angin untuk menentukan arah dan jumlah *runway*. Maka untuk mencapai tujuan tersebut, hal-hal yang perlu dilakukan pada tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik arah angin di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin ditinjau dari arah, besaran, dan frekuensi anginnya.
2. Menganalisis karakteristik pergerakan pesawat di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin dilihat dari tipe pesawat dan jadwal terbangnya.
3. Melakukan evaluasi terhadap kapasitas *runway* eksisting Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.
4. Melakukan peramalan periode tahun dimana pergerakan pesawat di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin melebihi kapasitas *runway* eksisting.
5. Menentukan letak dan arah *runway* rencana yang memungkinkan menurut analisis windrose di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.
6. Melakukan studi pilihan sistem *runway* dan memilih sistem *runway* rencana Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin sesuai dengan letak dan arah *runway* eksisting dan rencana.
7. Menentukan dimensi *runway*, *exit taxiway*, dan *taxiway* baru di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.

8. Melakukan evaluasi terhadap kapasitas *runway* eksisting dan *runway* rencana Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Pada tugas akhir ini tidak membahas masalah perkerasan *runway*.
2. Pada tugas akhir ini tidak merencanakan drainase *runway*.
3. Pada tugas akhir ini diasumsikan bahwa pendapatan daerah regional bruto (PDRB) mempunyai korelasi positif dengan pergerakan pesawat secara umum.

1.5. Manfaat

Beberapa manfaat yang dapat diraih apabila tujuan tugas akhir ini tercapai adalah sebagai berikut:

1. Penulis dan pembaca dapat memahami bahwa perbedaan data angin berpengaruh secara signifikan terhadap arah dan jumlah *runway*.
2. Menjadi salah satu sumber informasi penggunaan software analisis windrose yang dikeluarkan FAA.

1.6. Sistematika Penulisan

1. Bab I berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, sistematika penulisan, serta lokasi studi.
2. Bab II berisi tentang definisi dan terminologi dari hal-hal yang terkait dengan tugas akhir ini, konsep dan dasar teori dari tugas akhir ini, serta penjelasan singkat mengenal metode yang digunakan dalam tugas akhir ini.
3. Bab III berisi tentang urutan langkah pengerjaan dari tugas akhir ini sendiri beserta dengan penjelasan singkat dari tiap langkah-langkah pengerjaannya.
4. Bab IV berisi tentang analisis data yang telah didapatkan dari pengumpulan data. Bab ini menggunakan teori yang telah

dijabarkan di bab II untuk mendapatkan jawaban dari masalah tugas akhir.

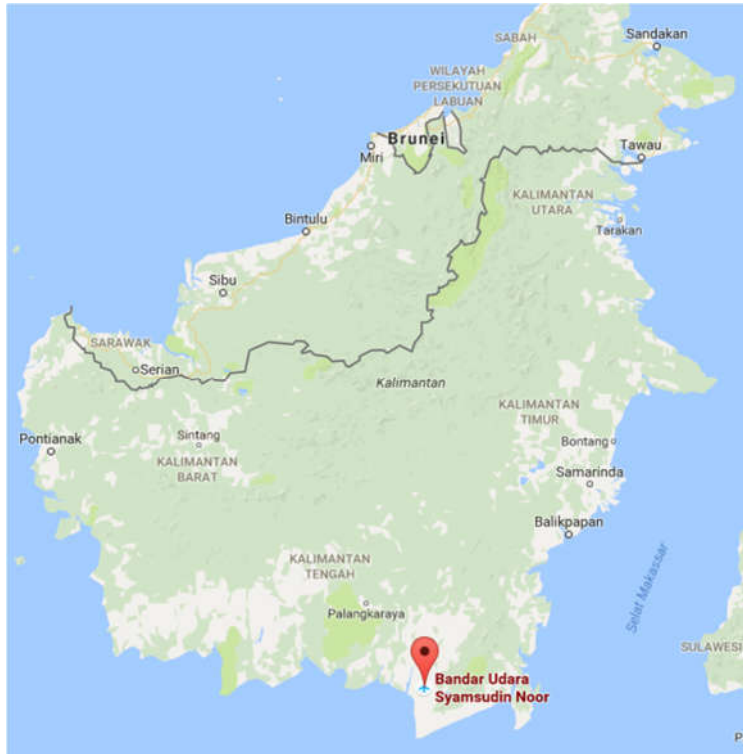
5. Bab V berisi tentang evaluasi objek perencanaan terhadap kondisi eksisting.
6. Bab VI berisi kesimpulan tugas akhir yang menjawab masalah tugas akhir dan saran pada pihak pengelola objek eksisting dan rencana.

1.7. Lokasi Studi

Lokasi tinjauan tugas akhir ini adalah Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin, pada Kecamatan Landasan Ulin, Kabupaten Banjar, 25 km dari pusat Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Gambar 1.1 menunjukkan tampak depan bandara sementara Gambar 1.2 menunjukkan peta Pulau Kalimantan dengan poin penunjuk lokasi bandara.



Gambar 1.1: Bandar Udara Syamsudin Noor
(Ezagren via Wikipedia, 2016)



Gambar 1.2: Lokasi Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin
(Google, 2016)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka menyajikan teori-teori yang diperlukan dalam penyusunan metodologi dan analisis data. Beberapa studi terdahulu juga disajikan dalam bab ini sebagai dasar asumsi-asumsi yang diambil nantinya. Adapun teori yang disajikan dalam bab ini adalah:

- *Runway*
- *Taxiway* dan *Exit Taxiway*
- Metode Perhitungan Jam Puncak
- Perumusan Matematis Kapasitas Jenuh

Pada bab ini pun diberikan ringkasan mengenai penelitian sebelumnya pada Bandar Udara Syamsudin Noor sebab pentingnya literatur tersebut sebagai landasan tugas akhir ini. Ringkasan penelitian tersebut disertakan pada bagian terakhir dari bab ini.

2.1. *Runway*

Runway adalah area persegi panjang di permukaan bandara yang dipersiapkan untuk proses *takeoff* dan *landing* pesawat (Horenjeff, 1994). Sebuah bandara bisa memiliki satu atau lebih *runway* tergantung pada kebutuhan dan kondisi. Jumlah *runway* sangat tergantung pada volume lalu lintas dan orientasi *runway* yang tergantung pada arah angin dominan serta topografi lingkungan sekitar. *Runway* juga sangat dipengaruhi oleh penghubungnya, yaitu *exit taxiway* dan *taxiway*. Oleh karena itu, dalam bukunya, Horonjeff dan McKelvey (2010) menyatakan sistem yang terbentuk dari *runway* dan *exit taxiway* diatur sedemikian rupa sehingga:

1. Memberikan keterlambatan dan gangguan sekecil mungkin dalam operasi pendaratan dan lepas landas.
2. Memberikan jarak *Taxiway* yang sependek mungkin dari daerah terminal menuju ujung *Runway*.

3. Memberikan jumlah *Exit Taxiway* yang cukup sehingga pesawat yang mendarat dapat meninggalkan *Runway* secepat mungkin

2.1.1. Sistem *Runway*

Sistem *Runway*, atau konfigurasi *runway* menurut Horenjeff (2010) mengacu pada jumlah dan arah relatif dari satu atau lebih *runway* dalam sebuah lapangan terbang. Di dalam perencanaan sebuah *runway* tambahan perlu dipertimbangkan korelasinya dengan *runway* eksisting, terutama letak dan arahnya. Ini disebabkan faktor efisiensi dan keamanan dalam aktivitas penerbangan yang diakibatkan oleh *runway* yang direncanakan tersebut. Perlu dipilih manakah konfigurasi yang tepat dengan jumlah *runway* eksisting dan rencana sehingga dapat mengakomodasi letak dan arah kedua *runway*.

Terdapat beberapa konfigurasi *runway*, hal ini karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

- Perbedaan kapasitas maksimum
- Perbedaan arah dan kecepatan angin
- Kompleksitas pengendalian lalu-lintas udara
- Kelengkapan alat bantu navigasi

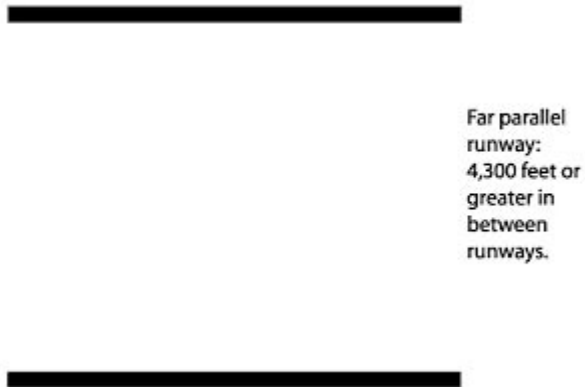
Terdapat banyak macam konfigurasi yang dipakai bandara-bandara di dunia, tetapi semua itu pada umumnya mengacu pada beberapa bentuk dasar yaitu:

1. *Runway* Tunggal
2. *Runway* Pararel
3. *Runway* Berpotongan
4. *Runway* V terbuka

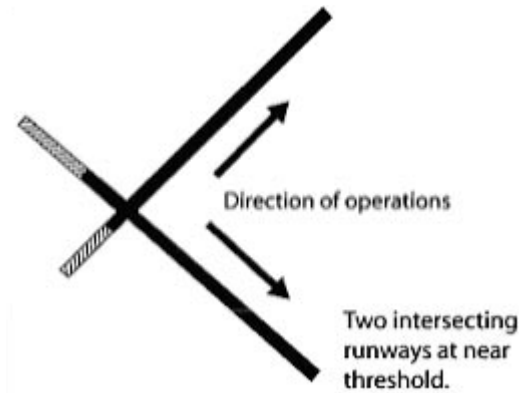
Contoh konfigurasi *runway-runway* tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1 hingga 2.4.



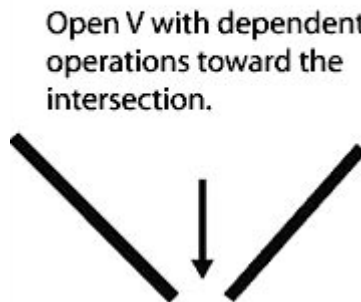
Gambar 2.1: Sistem *Runway* Tunggal (Single)
(Horenjeff, 2010)



Gambar 2.2: Sistem *Runway* Paralel
(Horenjeff, 2010)



Gambar 2.3: Sistem *Runway* Berpotongan (Intersecting)
(Horenjeff, 2010)



Gambar 2.4: Sistem *Runway* V terbuka
(Horenjeff, 2010)

Berdasarkan citra satelit google yang ditangkap pada Gambar 2.5, membuktikan Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin eksisting mempunyai sistem single *runway*, dengan arah $100^{\circ} - 280^{\circ}$ dari kutub magnet di utara. Menurut ICAO (1984), kapasitas single *runway* adalah antara 50 s.d 100 operasi penerbangan per

jam dalam kondisi VFR (*Visual Flight Rules*), dimana pilot dapat mengemudi berdasarkan informasi visual, Sedangkan untuk kondisi IFR (*Instrument Flight Rules*), dimana pilot mengemudikan pesawat berdasarkan alat/instrumen di bandara akibat minimnya informasi visual, sebesar antara 50 s.d 70 operasi penerbangan per jam.



Gambar 2.5: Gambar *Runway* Eksisting pada Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin (Google, 2016)

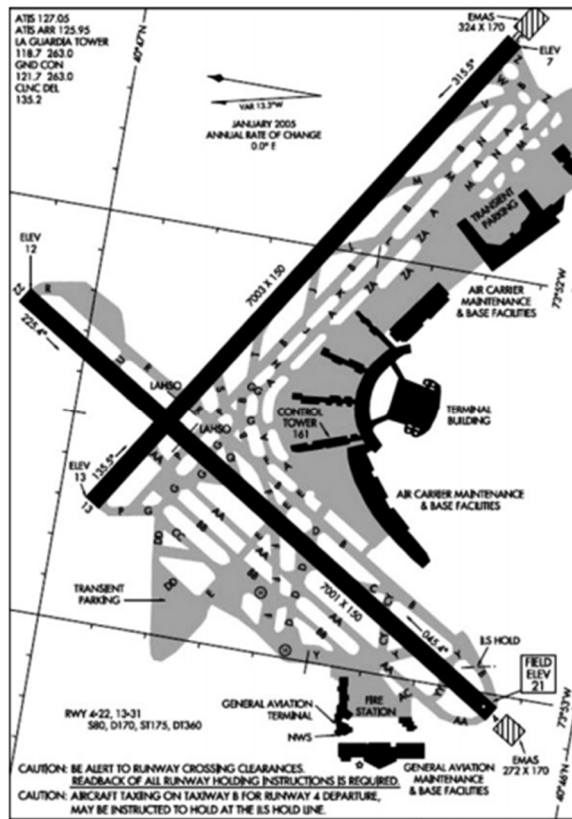
Untuk konfigurasi *runway* paralel, dapat didapatkan kapasitas per jam untuk keadaan VFR sebesar 60 s.d 200 operasi. Sedangkan untuk kondisi IFR dengan jarak diantara *runway* yang dekat sebesar 50 s.d 60 operasi dan untuk jarak sedang sebesar 50 s.d 75 operasi serta untuk jarak jauh sebesar 100 s.d 120 operasi. Dimensi jarak antar dua atau lebih *runway* paralel tersebut ditetapkan FAA untuk jarak dekat sepanjang 700 kaki (213.36 meter) sampai dengan 2500 kaki (762 meter). Untuk jarak sedang sepanjang 2500 kaki (762 meter) hingga 4300 kaki (1310.64 meter). Jarak diantara *runway* yang jauh ditetapkan sepanjang minimal 4300 kaki (1310.64 meter). Operasi *runway* paralel

dengan jarak dekat dalam keadaan IFR bergantung pada aktivitas kedatangan atau keberangkatan pesawat di *runway* satu dengan lainnya. Ini berbeda dengan operasi *runway* paralel yang jaraknya sedang dalam keadaan IFR, dimana keberangkatan satu *runway* dapat berjalan saat kedatangan *runway* lainnya. Pada jarak yang jauh masih dalam keadaan IFR, bahkan keberangkatan maupun kedatangan *runway* lainnya bisa berjalan bersamaan. Alternatif dari konfigurasi *runway* paralel adalah pemberlakuan dual-lane untuk masing-masing *runway* untuk menambah kapasitas oprasi pada keadaan IFR (Horenjeff, 2010).

Pada konfigurasi *runway* bersimpang (*intersecting*), *crosswind* yang kencang dapat dihindari ketika dibutuhkan dengan menggunakan *runway* lainnya. Kapasitas *runway* bersimpang tergantung dari: lokasi simpang (di tengah atau di pinggir jalur), pengoperasian *runway* untuk lepas landas dan mendarat, dan tipe pesawat (Horenjeff, 2010)/ Menurut Horenjeff, kapasitas *runway* bersimpang tertinggi didapatkan ketika simpang berada di dekat ambang pendaratan dan batas lepas landas.

Runway dengan konfigurasi V terbuka disarankan menggunakan sisi luar dari V sehingga pesawat lepas landas di satu *runway* menjauhi *runway* lainnya sebab masalah efisiensi. Kapasitas pada keadaan VFR dengan operasi menjauh dari V mempunyai kapasitas 60 s.d 180 operasi pada VFR dan 50 s.d 80 operasi pada IFR.

Kombinasi konfigurasi *runway* campuran tidak dibahas sebab jumlah *runway* rencana ditentukan hanya 1, sehingga tidak dimungkinkan. Setelah dilakukan studi, kapasitas terbesar didapatkan apabila memilih konfigurasi atau sistem *runway* paralel dengan jarak jauh (*far-spaced*), yang membutuhkan jarak antar *runway* sepanjang 1310.64 meter. Konfigurasi ini berlaku untuk kondisi VFR maupun IFR. Konfigurasi tentu akan cocok apabila analisis windrose mempunyai kesimpulan bahwa arah *runway* eksisting mencukupi persyaratan FAA untuk single *runway*. Letak persis dan panjang yang digunakan *runway* akan dianalisis pada subbab perencanaan layout *runway* bandara.



Gambar 2.6: Contoh *runway* bersimpang (intersecting *runway*) dengan simpang di dekat ambang pendaratan dan batas lepas landas (Horenjeff, 2010)

Tabel 2.1: Konfigurasi *Runway* dan Kapasitasnya

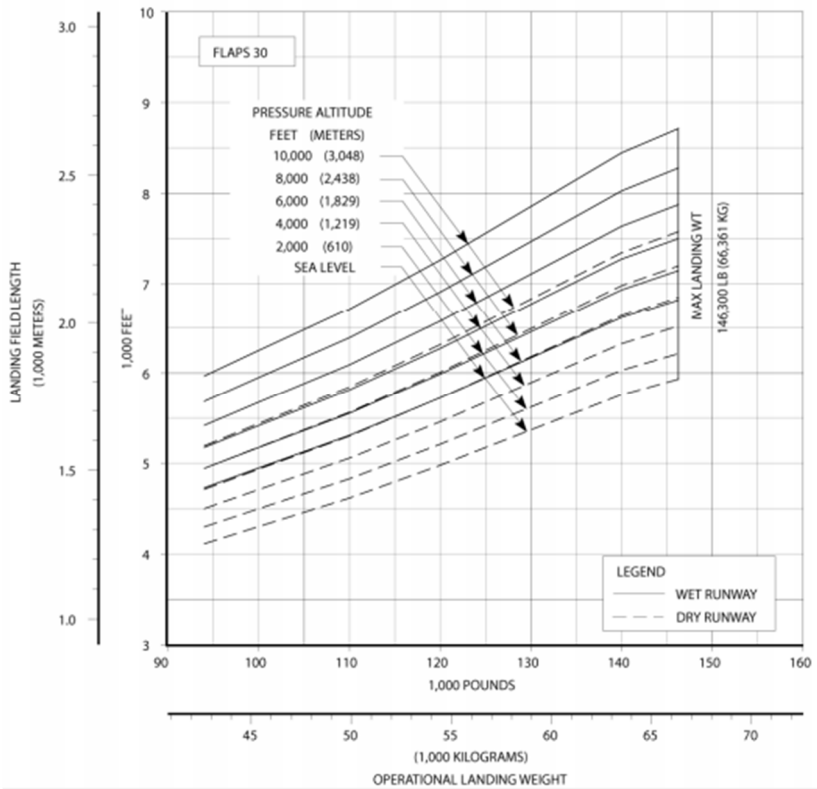
Konfigurasi <i>Runway</i>	Kapasitas VFR	Kapasitas IFR
Single	50 – 100	50 - 70
Paralel	60 – 200 (dekat – jauh)	50 – 60 (dekat) 50 – 75 (sedang) 100 – 120 (jauh)
Bersimpang	Bervariasi	Bervariasi
V Terbuka	60 – 180 (menjauh V)	50 – 80 (menjauh V)

2.1.2. Panjang *Runway*

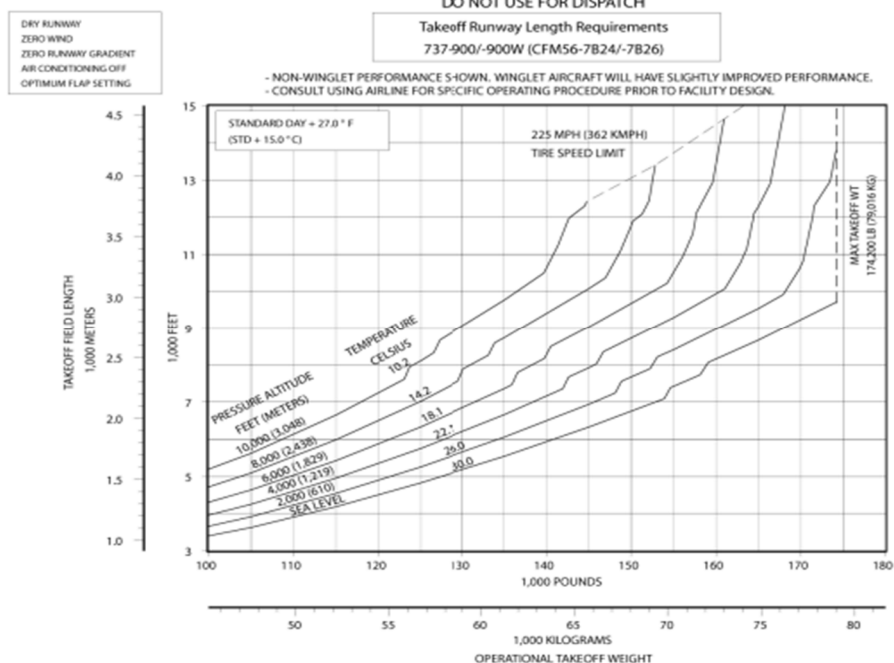
Bagian pertama dari perencanaan dimensi *runway* adalah penentuan panjang rencana. Menentukan panjang *runway* adalah pekerjaan penting dalam perencanaan *runway* secara keseluruhan. Sesungguhnya panjang *runway* merupakan elemen paling penting dalam *runway*. Ini disebabkan oleh bagaimana panjang *runway* dapat menentukan tipe pesawat yang dapat dilayani bandar udara. Pekerjaan dimulai dengan menentukan pesawat yang paling besar, yaitu pesawat dengan kebutuhan *runway* terpanjang dan mempunyai jumlah penerbangan rute nonstop minimal 500 operasi (Horenjeff, 2010). Panjang *runway* pun dapat diketahui dari membandingkan kebutuhan panjang *runway* pesawat kritis dari berat mendarat dan lepas landas manakah yang paling besar. Panjang ini disebut juga Aeroplane Reference Field Length.

2.1.3. Lebar *Runway*

Lebar *Runway* untuk perencanaan dapat diketahui dari tabel 2.2. Tabel tersebut didapatkan dari SKEP Dirjen Perhubungan Udara.



Gambar 2.7: Panjang *Runway* Minimum Boeing 737-900
 Berdasarkan Berat Mendarat
 (Boeing, 2013)



Gambar 2.8: Panjang *Runway* Boeing 737-900 Berdasarkan Berat Lepas Landas (Boeing, 2013)

Tabel 2.2: Penentuan Lebar *Runway* (Width) Berdasarkan Code Number (Dirjen Perhubungan, 2005)

Code Number	Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
1a	18 m	18 m	23 m			
2	23 m	23 m	30 m			
3	30 m	30 m	30 m	45 m		
4			45 m	45 m	45 m	60

2.1.4. Jarak Pemisahan *Runway* Rencana

Arti dari pemusahan *runway* disini adalah jarak antara *runway* dengan halangan berupa objek atau fasilitas bandara lainnya, contohnya yaitu landasan hubung atau *taxiway*. Pemisahan ini adalah jarak antara garis tengah (centerline) *runway* dengan garis tengah (centerline) *taxiway*. Sementara pemisahan lain adalah pemisahan pesawat yang sedang melakukan holding di *taxiway* dan garis tengah *runway*, pemisahan ini disebut holdline. Pemisahan lainnya adalah jarak antara garis tengah *runway* dan area parkir pesawat. Ketiga pemisahan tersebut didapatkan dari tabel pada dokumen SKEP 77 2005.

Tabel 2.3: Standar Pemisahan Untuk Pesawat Kategori Approach C & D (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Uraian	Penggolongan Pesawat					
	I	II	III	IV	V	VI
Instrumen non-presisi dan garis tengah <i>Runway</i> visual (m)						
1. Holdline	75	75	75	75	75	75
2. Garis Tengah <i>taxiway</i> / taxilane (D)	90	90	120	120	2/	180
3. Area parkir pesawat (G)	120	120	150	150	150	150
Instrumen presisi dan garis tengah <i>runway</i> visual (m)						
1. Holdline	75	75	75	75	85	98
2. Garis Tengah <i>taxiway</i> / taxilane (D)	150	120	120	120	2/	180
3. Area parkir pesawat (G)	150	150	150	150	150	150

2.1.5. *Runway* Strip

Runway strip adalah luasan bidang tanah yang menjadi daerah landas pacu. Penentuan areanya tergantung pada panjang landas pacu dan jenis instrumen pendaratan (precision approach) yang dilayani. Dimensi *runway* strip telah diatur dalam SKEP 77 tahun 2005 oleh Dirjen Perhubungan Udara. Tabel 2.4 menunjukkan dimensi *runway* strip yang dibutuhkan untuk masing-masing golongan pesawat. Asumsi yang digunakan adalah bahwa *runway* menggunakan instrumen presisi.

Tabel 2.4: Kebutuhan Dimensi *Runway Strip* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

No	Uraian	Code Letter					
		A/I	B/II	C/III	D/IV	E/V	F/VI
1.	Lebar Minimum termasuk Landasan (Ws)						
	o Landasan Instrumen (m)						
	➤ Pendekatan presisi	150	150	300	300	300	300
	➤ Pendekatan non-presisi	150	150	300	300	300	300
	o Landasan non-instrumen	60	80	150	150	150	150
2.	Permukaan strip: Tidak boleh ada benda-benda, kecuali alat bantu visual untuk navigasi udara pada strip						
	o Landasan instrumen (m)						
	➤ Pendekatan presisi						
	Kategori I	90	90	120	120	120	120
	Kategori II	-	-	120	120	120	120
	Kategori III	-	-	120	120	120	120
3.	Lebar minimum yang diratakan termasuk landasan (m)						
	o Landasan Instrument	80	80	150	150	150	150
	o Landasan non-instrument	60	60	150	150	150	150
4.	Slope kemiringan memanjang (%):						
	o Maksimum yang diratakan	2	2	1,75	1,75	1,75	1,75
	Perubahan maksimum tiap 30 m pada strip diluar ambang landasan	2	2	2	2	2	2
5.	Slope kemiringan melintang (%):						
	o Maksimum yang diratakan	< 3	< 3	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
	o Perubahan maksimum pada 3m pertama dari tepi landasan, bahu landasan, dan stopway	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	o Maksimum diluar bagian yang diratakan	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5

2.1.6. Penomoran *Runway*

Penomoran *runway* merupakan langkah penting sebagai pengidentifikasian *runway*. Cara penomoran secara universal cukup dengan menghilangkan angka terakhir pada derajat azimuth sisi yang ingin dinomorkan setelah pembulatan angka terakhir.. *Runway* akan diberi label “L” bila terletak di sebelah kiri dan label “R” bila terletak di sebelah kanan setelah penomoran. Kiri atau kanan dalam penomoran adalah relatif.

2.1.7. Marka Batas *Runway*

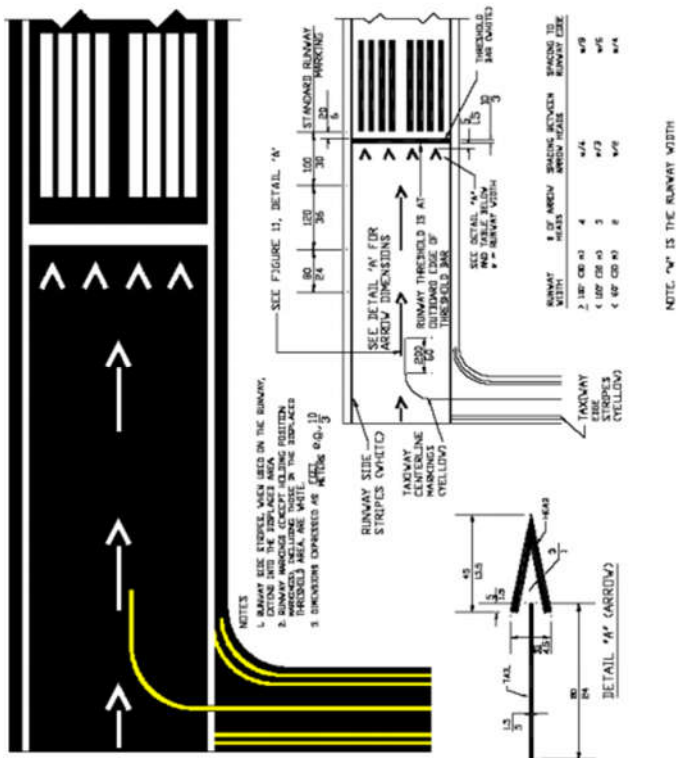
Marka batas *runway* memberi tanda kepada pilot pesawat akan awal dari daerah *runway* yang aman untuk dijadikan tempat pendaratan. Marka batas *runway* terdiri dari dua set baris berwarna putih yang masing-masing mempunyai lebar 1,75 m dan panjang 45 m. Kedua set marka batas *runway* dipisah oleh garis tengah *runway* dengan pemisahan berjarak 3,5 meter diantara ujung baris terdalam dari garis tengah. Spasi antara ujung terluar baris pada masing-masing set selebar 1 m. Spesifikasi marka batas *runway* disebutkan dalam dokumen FAA AC 150/5340-1J, yang disediakan dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5: Persyaratan Baris Marka Batas *Runway* (FAA, 2005)

<i>Runway</i> Width	Number of Stripes
60 feet (18 m)	4
75 feet (23 m)	6
100 feet (30 m)	8
150 feet (45 m)	12
200 feet (60 m)	16

Dalam prakteknya, ada beberapa kondisi yang menyebabkan marka batas *runway* tidak dapat diletakkan pada letak yang disyaratkan. Contoh keadaan tersebut adalah apabila adanya *taxiway* yang sejajar atau sangat dekat dengan letak marka batas

runway yang telah disyaratkan. Pada kasus tersebut maka marka batas *runway* diletakkan lebih jauh dari batas *runway* dan diberikan marka panah. Marka tersebut diberi dari batas *runway* sepanjang 36 m dan berjarak 24 m dari ujung anak panah dengan garis lurus marka panah berikutnya. Marka panah yang terakhir berjarak 30 m dari ujung anak panah hingga ujung marka batas *runway*, dipisahkan oleh 2 sampai 4 anak panah sejajar dan garis tebal selebar 3 m, Jarak antara anak panah sejajar dan garis tebal tersebut adalah 1,5 m. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat diagram pada gambar 2.9.



Gambar 2.9: Marka Batas *Runway* Terpindah (FAA, 2005)

2.1.8. Marka Garis Tengah (Centerline)

Marka garis tengah terletak pada garis tengah *runway*, terdiri dari garis putih seragam dengan jarak pemisahan yang konstan. Panjang marka garis tengah adalah 36 m dan jarak pemisahan diantara satu dan lainnya adalah 80 ft (24,4 m). Lebar baris marka garis tengah adalah 12 in (0,25 m) untuk *runway* visual, 18 in (0,45 m) untuk *runway* instrument non-presisi, dan 36 in (0,91 m) untuk *runway* instrument presisi.

2.1.9. Marka Titik Sasaran

Titik sasaran diberikan pada *runway* sebagai alat untuk memudahkan pilot pesawat untuk mendarat pada *runway* tersebut. Titik sasaran terdiri dari dua baris yang dipisah garis tengah *runway* dengan jarak 21,6 meter antara ujung terdalam. Masing-masing baris mempunyai panjang 45 m dan lebar 10 m. Marka titik sasaran berada pada 306 m dari ujung *runway* dimana pesawat memulai pendaratan.

2.1.10. Marka Zona Touchdown

Marka zona *touchdown* menandakan zona *touchdown* untuk pesawat yang akan mendarat. Marka zona *touchdown* terdiri dari 2 set satu sampai tiga baris berwarna putih yang terletak 150 m dari ujung *runway*. Masing-masing baris mempunyai panjang 22,5 m dan lebar 2 m. Jarak antar baris marka adalah 1,5 m dengan jarak pemisahan antara kedua set baris sebesar 21,6 m dan as terletak pada garis tengah *runway*. Tabel 2.6 menjabarkan syarat jumlah baris pada setiap set.

2.1.11. Marka Sisi Runway

Marka sisi *runway* terdiri dari garis putih sepanjang *runway* yang menerus dengan lebar minimum 1 m untuk *runway* instrument presisi. Marka sisi *runway* dibutuhkan untuk memberi tanda daerah yang dianggap *runway*, selain itu juga membedakan daerah yang menggunakan perkerasan penuh dan yang tidak.

Tabel 2.6: Jumlah Baris Marka Zona *Touchdown* pada Masing-Masing Sisi *Runway* (FAA, 2005)

<i>Runway</i> Length	Markings on Each End
7990 feet (2436 m) or greater	Full set of markings
6990 feet (2130 m) to 7989 feet (2435 m)	Less one pair of markings
5990 feet (1826 m) to 6989 feet (2129 m)	Less two pairs of markings
3990 feet (1521 m) to 5989 feet (1825 m)	Less three pairs of markings

2.1.12. Fasilitas *Runway* Rencana

Runway membutuhkan beberapa fasilitas esensial untuk operasi keberangkatan maupun kedatangan. Tanpa fasilitas-fasilitas tersebut berarti tidak mengikuti standar perencanaan yang umum dan mengurangi kenyamanan penumpang pesawat. Fasilitas tersebut diantaranya adalah Blast pad/Stop Bay dan Holding Bay.

Blast Pad/Stopway

Blast pad adalah bagian buangan panas mesin di *runway*. Bagian ini diletakkan sebelum ujung *runway* untuk mengantisipasi hembusan jet waktu pesawat *takeoff*. Pesawat tidak diperbolehkan menggunakan blast pad untuk *takeoff* maupun landings. Manfaat blast pad hanyalah untuk tujuan preventif akibat destruktif dari hembusan mesin jet terhadap ujung *runway* yang dapat mengakibatkan keretakan perkerasan. Sementara stopway adalah area tertentu berbentuk segiempat di batas akhir *runway* sebagai tempat berhenti pesawat saat adanya pembatalan *takeoff*.

Holding Bay

Holding Bay adalah area tertentu dimana pesawat dapat melakukan penantian, atau menyalip untuk mendapatkan efisiensi gerakan permukaan pesawat (Dirjen Perhubungan Udara, 2005). Posisi Holding Bay sendiri terletak pada pertemuan *runway* dengan *taxiway*.

Tabel 2.7: Dimensi Stopway (Dirjen Perhubungan, 2005)

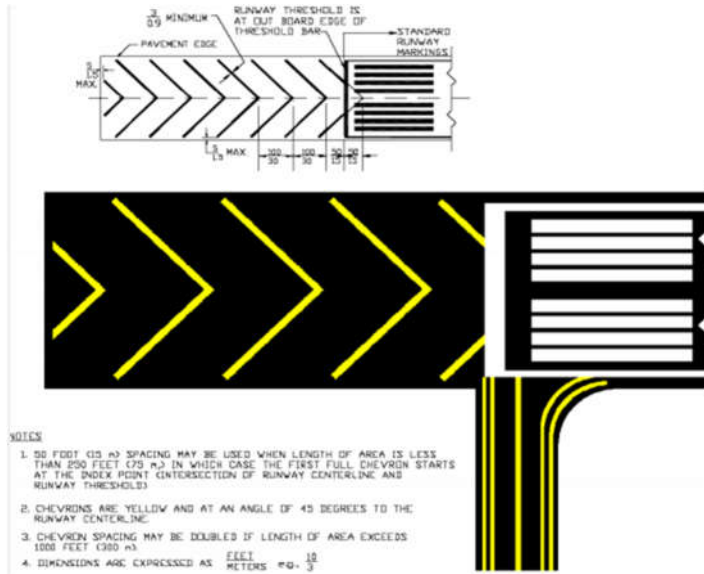
Code Letter	Penggolongan Pesawat	Lebar Stopways (m)	Panjang Stopway (m)	Kemiringan Stopway (%) / (m)
A	I	18	30	-
B	II	23	30	-
C	III	30	60	0,3 per 30
D	IV	30	60	0,3 per 30
E	V	45	60	0,3 per 30
F	VI	45	60	0,3 per 30

Tabel 2.8: Dimensi Holding Bay (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Uraian	A/I	B/II	C/III	D/IV	E/V	F/VI
Jarak ruang bebas antara pesawat yang parkir dan pesawat di <i>taxiway</i>	4,5 – 5,25	4,5 - 5,25	7,5 - 12	7,5	7,5	7,5
Jarak minimum antara Holding Bay dengan garis tengah landasan						
a. Landasan instrumen	30	40	75	75	75	75
b. Landasan non-instrumen	40	40	75	75	75	75
o Pendekatan non-presisi	60	60	90	90	90	90
o Pendekatan presisi kategori I			90	90	90	90
o Pendekatan presisi kategori II & III						

2.1.13. Marka Blast Pad

Marka blast pad telah diatur dalam dokumen FAA AC 150/5340/1j. Marka blast pad terletak pada blast pad, sebelum batas *runway*. Gambar 2.10 menjabarkan letak dan dimensi marka.



Gambar 2.10: Syarat Dimensi Marka Blast Pad dan Stopway (FAA, 2005)

2.1.14. Lingkungan Lapangan Terbang

Lingkungan lapangan terbang yang berpengaruh terhadap panjang landasan adalah temperatur, angin permukaan, kemiringan landasan, ketinggian lapangan terbang. Dalam perhitungan landasan pacu dipakai suatu standar yang disebut Aeroplane Reference Field Length (ARFL), yaitu jarak *takeoff* minimum suatu tipe pesawat pada massa maksimum, muka air laut, kondisi atmosfer, udara tenang dan kemiringan nol yang dibolehkan pada peraturan yang berlaku maupun manual penerbangan pesawat (ICAO, 2015). ARFL disebut juga *balanced field length* sebab jarak yang dibutuhkan untuk take-off sama dengan jarak berhenti hingga akselerasi.

2.1.14.1 Temperatur

Pada temperatur yang lebih tinggi, dibutuhkan landasan yang lebih panjang, sebab kerapatan udara rendah, menghasilkan

output daya dorong yang rendah. Sebagai standar temperatur di atas muka laut sebesar $59^{\circ}\text{F} = 15^{\circ}\text{C}$. Menurut *Internasional Civil Aviation Organisation* (ICAO) panjang landasan harus terkoreksi terhadap temperatur sebesar 1%.

$$F_t = 1 + 0.01 (T - (15 - 0.0065h)) \quad (2.1)$$

Dimana:

F_t = Faktor terkoreksi temperatur.

T = Temperatur di lapangan terbang.

h = Elevasi lapangan terbang.

2.1.14.2 Ketinggian Lapangan Terbang

Ketinggian bandara menurut permukaan air laut memengaruhi kerapatan udara oleh tekanan atmosferik dan suhu. Tekanan atmosferik memengaruhi gaya derek dan angkat pesawat yang dibutuhkan untuk *takeoff*. Menurut ICAO, bahwa ARFL bertambah 7% setiap kenaikan 300 m (1000 ft) dari ketinggian muka laut. Maka rumus dari F_e (faktor koreksi elevasi).

$$F_e = 1 + 0.07 \quad (2.2)$$

Dimana:

F_e = Faktor terkoreksi elevasi.

h = Elevasi lapangan terbang.

2.1.14.3 Kemiringan Landasan (*Runway Gradient*)

Kemiringan landasan dapat menyebabkan meningkatnya konsumsi energi. Hal tersebut disebabkan mesin pesawat diharuskan mencapai kecepatan di darat yang sulit dicapai ketika kemiringan cukup ekstrim. FAA memperkenalkan "*Effective Gradient*" yaitu beda tinggi antara titik terendah dari penampang memanjang landasan dibagi dengan panjang landasan yang ada. Faktor koreksi kemiringan (F_s) sebesar 10% setiap kemiringan 1%.

$$F_s = 1 + 0.1 S \quad (2.3)$$

Dimana:

F_s = Faktor terkoreksi kemiringan.

S = Gradien efektif.

2.2. Taxiway dan Exit Taxiway

Taxiway disebut juga landasan hubung, berfungsi sebagai jalur transisi antara *runway* dan apron. *Taxiway* mengalirkan pesawat yang datang dari *runway* ke apron dan pesawat yang hendak berangkat dari apron ke *runway*. Dimensi *Taxiway* dapat ditentukan melalui input kelompok pesawat terbesar dan jarak minimum roda utama dan tepi *taxiway* kedalam tabel 2.9.

Tabel 2.9: Dimensi *Taxiway* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Code letter	Penggolongan Pesawat	Lebat <i>Taxiway</i> (m)	Jarak bebas minimum dari sisi terluar roda utama dengan tepi <i>taxiway</i> (m)
A	I	7,5	„5
B	II	10,5	2,25
C	III	15 ^A	3 ^A
		18 ^B	4,5 ^B
D	IV	18 ^C	4,5
		23 ^D	
E	V	25	4,5
F	VI	30	4,5

Keterangan:

- Bila *taxiway* digunakan pesawat dengan roda dasar kurang dari 18 m.
- Bila *taxiway* digunakan pesawat dengan seperempat roda dasar lebih dari 18 m.
- Bila *taxiway* digunakan pesawat dengan roda putaran kurang dari 9 m.
- Bila *taxiway* untuk pesawat dengan seperempat roda putaran lebih dari 9 m.

Fungsi dasar dari *taxiway* adalah untuk menyediakan akses antar *runway* dan daerah terminal juga *service hangar*. *Taxiway* harus dirancang dengan baik sehingga pesawat yang baru saja mendarat tidak terganggu oleh pesawat yang bergerak untuk *takeoff*. Rute *taxiway* harus diseleksi sehingga menghasilkan jarak terpendek yang masih mungkin dari daerah terminal ke ujung

runway yang digunakan untuk *takeoff*. Selain itu, pada bandara yang cukup sibuk, *exit taxiway* harus ditempatkan pada titik penting sepanjang *runway*. Hal ini dimaksudkan agar pesawat *landing* dapat meninggalkan *runway* secepat mungkin sehingga *runway* dapat digunakan pesawat lain. Kemungkinan mempercepat pesawat meninggalkan *runway* tergantung pada *exit taxiway*. Terdapat 3 tipe sudut *exit taxiway*, yaitu 90° , 45° , 30° . *Exit taxiway* dengan sudut 30° disebut *rapid exit taxiway* atau *high speed exit taxiway*. Jarak dari *touchdown* ke lokasi *exit taxiway* ideal dapat diperkirakan dengan formula berikut ini (Ashford dan Wright, 1984)

$$D_2 = \frac{v_{UT}^2 - v_E^2}{2A} \quad (2.4)$$

Dimana :

D_2 = Jarak *exit taxiway* dari titik *touchdown*

V_{ul} = Kecepatan *touchdown* di *runway* (m/dt)

V_e = Kecepatan awal keluar *runway* (m/dt)

A = Perlambatan (m/dt²)

Jarak dari ujung *runway* hingga pesawat mencapai kecepatan keluar di *exit taxiway* (S) adalah sebagai berikut:

$$S = D_1 + D_2 \quad (2.5)$$

$$S = \frac{v_{td}^2 - v_{ut}^2}{2a_1} - \frac{v_{ut}^2 - v_e^2}{2a_2} \quad (2.6)$$

Dimana:

S = Jarak dari ujung *runway* ke *exit taxiway* (m)

D_1 = Jarak dari ujung *runway* ke titik *touchdown* (m)

D_2 = Jarak *exit taxiway* dari titik *touchdown* (m)

V_{ul} = Kecepatan pendaratan pesawat (m/dt)

V_{td} = Kecepatan *touchdown* di *runway* (m/dt)

V_e = Kecepatan awal keluar *runway* (m/dt)

a_1 = Perlambatan di udara (m/dt²)

a_2 = Perlambatan di darat (m/dt^2)

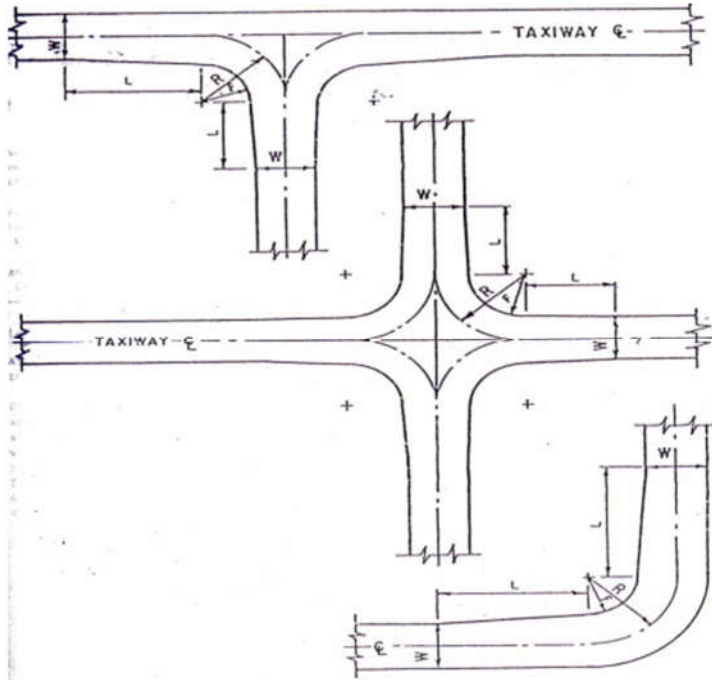
Saat pesawat hendak berputar dalam *taxiway* untuk mengikuti jalur, perlu diikuti standar margin keselamatan sehingga antara roda utama dan pinggir *taxiway* tidak terlalu dekat jaraknya. Standar tersebut diatur dalam peraturan FAA. Untuk mengikuti standar diperlukan manuever dan *fillet*, atau permukaan dalam bentuk perkerasan di ujung lainnya. *Fillet* diperlukan agar pesawat dapat memutar dengan aman.

Dimensi *fillet* diatur dalam dokumen SKEP 77 tahun 2005 Dirjen Perhubungan Udara. Tabel 2.10 adalah tabel penentuan dimensi berdasarkan kelompok pesawat terbesar.

Tabel 2.10: Dimensi *Fillet Taxiway* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Code letter/ penggolongan pesawat	Putaran <i>taxiway</i> (R) (m)	Panjang dari peralihan ke <i>fillet</i> (L) (m)	Jari-Jari <i>fillet</i> untuk judgemental oversteering symmetrical widening (F) (m)	Jari-Jari <i>fillet</i> untuk judgemental oversteering One ide widening	Jari-jari <i>fillet</i> untuk Trading Centre line (F) (m)
A/I	22,5	15	18,75	18,75	18
B/II	22,5	15	17,75	17,75	16,5
C/III	40	45	20,4	18	16,5
D/IV	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25
E/V	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25
F/VI	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25

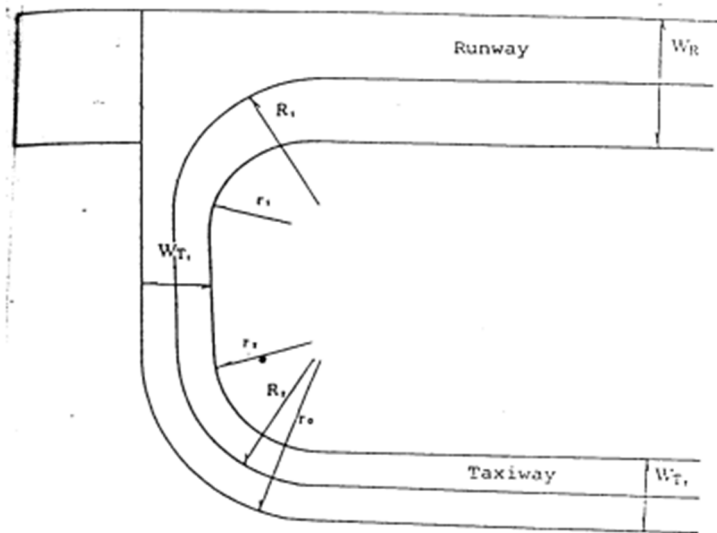
Taxiway harus ditambahkan bahu dengan lebar sama. Dimensi total dari *taxiway* dan bahunya ditentukan dari tabel 2.12 dengan input kelompok approach pesawat terbesar.



Gambar 2.11: Letak Dimensi *Fillet Taxiway* (Horenjeff, 2010)

Tabel 2.11: Radius *Fillet Taxiway* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Code letter/ penggolongan pesawat	Lebar runway (W_r) (m)	Lebar paralel runway (W_{r2}) (m)	Lebar dari dan keluar taxiway (W_{r3}) (m)	R1 (m)	R2 (m)	r0 (m)	r1 (m)	r2 (m)
A/I	18	15	30	30	30	39	25	25
B/II	23	18	26,5	41,5	30	41,5	25	30
C/III	30	23	26,5	41,5	41,5	53	25	35
D/IV	45	30	30	30	60	71,5	35	55
E/V	45	30	60	60	60	71,5	35	55
F/VI	60	45	60	60	60	75	45	50



Gambar 2.12: Tampak Radius *Fillet Taxiway* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

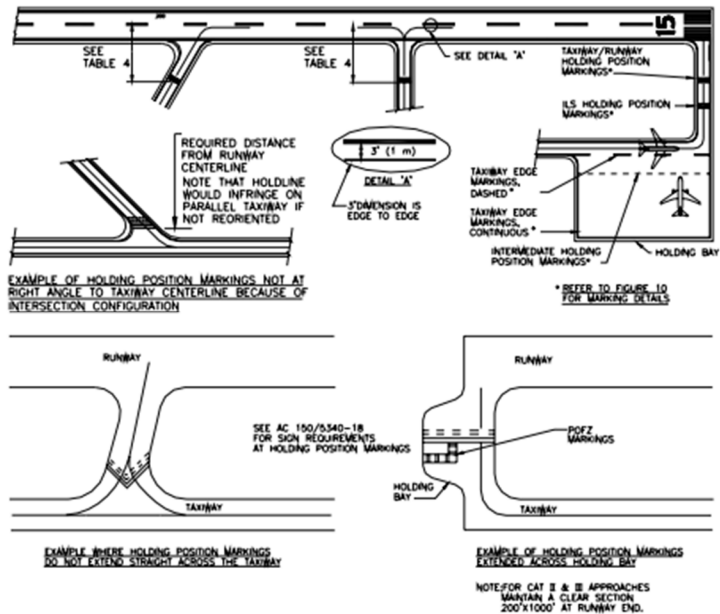
Tabel 2.12: *Taxiway Shoulder Minimum* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Lebar Minimum Bahu <i>Taxiway</i> Pada Bagian Lurus (M)
A	I	25
B	II	25
C	III	25
D	IV	38
E	V	44
F	VI	60

2.3. Marka Garis Tengah dan Tepi *Taxiway*

Marka garis tengah *taxiway* berupa garis berwarna kuning selebar 6 inci (0,13 m) yang menerus sepanjang *taxiway* dan mengikuti busur luar pada persimpangan antar *taxiway*. Garis tengah *taxiway* juga menerus ketika *taxiway* bertemu dengan *runway*, sehingga sejajar dengan marka garis tengah *runway*

dengan jarak antar bagian terluar garis tengah 1 m. Marka garis tengah *taxiway* dapat dipotong oleh empat garis dengan arah tegak lurus dari garis tengah apabila *taxiway* melewati bagian dengan perkerasan kekuatan penuh. Dua garis tersebut kontinyu dan dua lainnya garis putus-putus. Gambar 2.13 menjabarkan lebih detail persyaratan penggunaan marka garis tengah dan tepi *taxiway*.



Gambar 2.13: Persyaratan Marka Garis Tengah dan Tepi *Taxiway* (FAA, 2005)

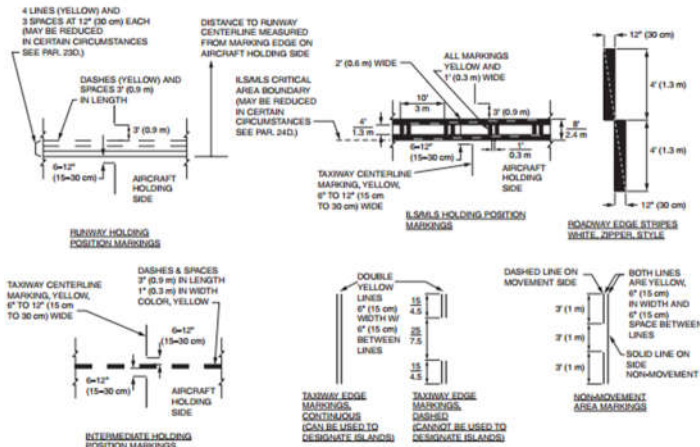
2.4. Marka *Taxiway Hold*

Marka holdline *taxiway* berfungsi untuk menandakan perlunya menunggu pada garis putus-putus tegak lurus pada *taxiway*. Proses menunggu ini terjadi pada persimpangan antara *taxiway* dengan *taxiway* maupun *runway*. Garis marka berjumlah empat dengan lebar 15 cm dan spasi memanjang antar garis menerus maupun putus-putus 30 cm. Spasi melintang antar setiap

garis putus-putus adalah 90 cm. Jarak antar garis terdekat dengan *runway* dan garis tengah *runway* ditentukan dari tabel 2.13. Gambar 2.14 menjabarkan lebih detil tentang dimensi marka holdline *taxiway*.

Tabel 2.13: Persyaratan Jarak Holdline ke Centerline *Runway* (FAA, 2005)

Airplane Design Group					
I	II	III	IV	V	VI
44,5 feet	65,5 feet	93 feet	129,5 feet	160 feet	193 feet
(13,5 m)	(20 m)	(28,5 m)	(39 m)	(48,5 m)	(59 m)

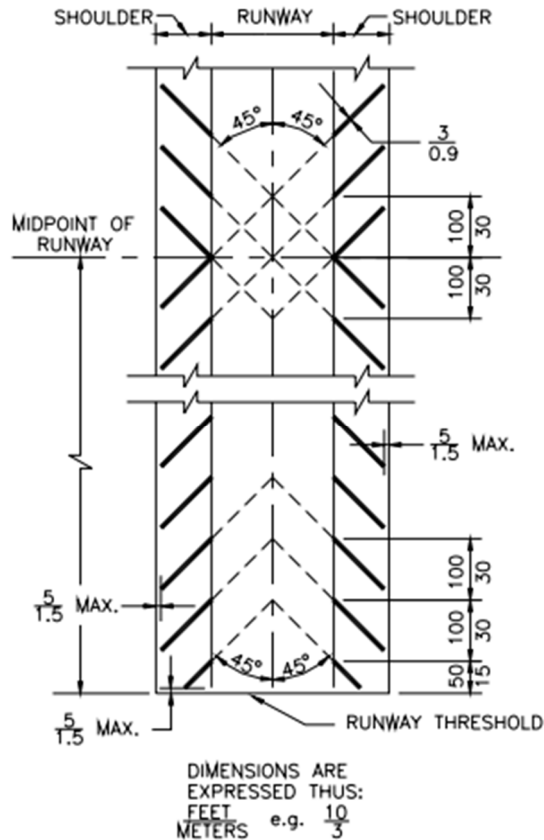


Gambar 2.14: Persyaratan Holdline *Taxiway* (FAA, 2005)

2.5. Marka Bahu *Taxiway*

Tegak lurus dengan marka tepi *taxiway* adalah marka Bahu *taxiway*. Marka ini menandakan batas antara *taxiway* dengan bagian *runway* sisi udara lainnya, apalagi bagian dengan perkersana yang berbeda seperti apron atau holding bay. Marka bahu *taxiway* berupa garis berwarna kuning selebar 1 m dan

sepanjang 7,5 m, biasanya mempunyai warna hijau sebagai warna latar. Gambar 2.15 mengilustrasikan letak marka bahu *taxiway*.



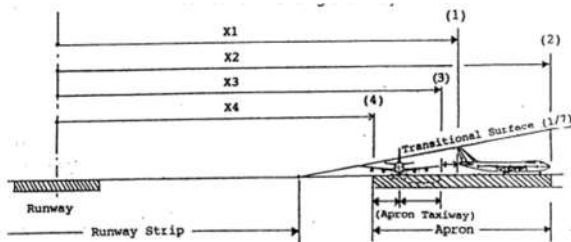
Gambar 2.15: Dimensi dan Ilustrasi Marka Bahu *Taxiway* (FAA, 2005)

2.6. Dimensi Apron

Apron adalah tempat perhubungan antara pesawat dan terminal. Tempat ini berfungsi sebagai persinggahan pesawat sebelum proses lepas landas maupun setelah mendarat. Pesawat yang hendak lepas landas menunggu penumpang naik

dan pesawat yang telah mendarat menurunkan penumpang. Pesawat juga dapat melakukan cek kebersihan dan perawatan sebelum operasi berikutnya di Apron.

Dimensi apron telah diatur dalam dokumen Dirjen Perhubungan Udara yaitu SKEP 27 tahun 2005. Gambar 2.16 menunjukkan potongan melintang pada suatu bandara dengan bagian *runway*, *taxiway* dan apron. Tabel 2.14 menunjukkan kebutuhan dimensi tiap golongan pesawat pada apron. Seperti pada terminal eksisting, pada apron *runway* rencana direncanakan pesawat parkir dengan system Nose-In, atau dengan moncong pesawat menghadap tegak lurus ke terminal. Diperlukan pula jarak pemisahan antara pesawat dan objek atau halangan disekitarnya, sehingga apron dapat mengakomodasi taxiing pesawat. Tabel 2.15 menunjukkan kebutuhan jarak pemisahan pesawat dan objek.



Gambar 3.1.16 Posisi apron dan taxiway

Posisi masing-masing di parkir pesawat dari garis tengah runway diatur sebagai berikut:

- X_1 = Posisi maksimum dari ekor pesawat sampai garis tengah runway
- X_2 = Posisi dari garis tengah runway sampai bangunan terminal ($X_2 = X_1 + \text{panjang maksimum pesawat}$)
- X_3 = Posisi ujung sayap pesawat yang berada disini bangunan terminal sampai garis tengah runway ($X_3 = X_1 - \text{jarak antar dua pesawat}$)

Gambar 2.16: Potongan melintang *runway*, *taxiway* dan apron (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Tabel 2.14: Tabel Dimensi yang Dibutuhkan pada Apron (Dirjen Perhubungan udara, 2005)

Uraian	Penggolongan pesawat					
	I	II	III	IV	V	VI
1. Dimensi untuk satu pesawat						
a. Slef taxiing (45° taxiing)						
o Panjang (m)	40	40	70	70-85	70-85	70-85
o Lebar (m)	25	25	55	55-80	55-80	55-80
b. Nose in						
o Panjang (m)	-	-	95	190	190	190
o Lebar (m)	-	-	45	70	70	70
c. Clereance antar pesawat dengan pesawat di Apron (m)	3	3	4,5	4,5	4,5	4,5
2. Slope/Kemiringan						
a. Ditempat Pesawat Parkir, Maksimum	1 ≤	1 ≤	1 ≤	1 ≤	1 ≤	1 ≤
b. Didaerah Pemuatan Bahan Bakar Pesawat	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2

Tabel 2.15: Jarak Pemisahan Pesawat di Apron (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Uraian	Code Letter / Penggolongan Pesawat					
	A / I	B / II	C / III	D / IV	E / V	F / VI
Jarak bebas antar pesawat yang parkir dengan pesawat yang akan tinggal landas (A) (m)	10	10	10	15	15	15
Jarak bebas antar pesawat yang parkir dengan pesawat yang berada di taxilane dan penghalang lain (B) (m)	4,5	4,5	7,5	7,5	10	10
Jarak pesawat yang sedang berjalan dengan pesawat yang berada di lead-in garis dan pesawat lain (C) (m)	4,5	4,5	7,5	7,5	10	10
Jarak antara pesawat yang sejajar yang berada di apron dan bangunan lain (D) (m)	4,5	4,5	7,5	7,5	10	10
Jarak antara pesawat dengan pengisian bahan bakar dan bangunan (E) (m)	15	15	15	15	15	15

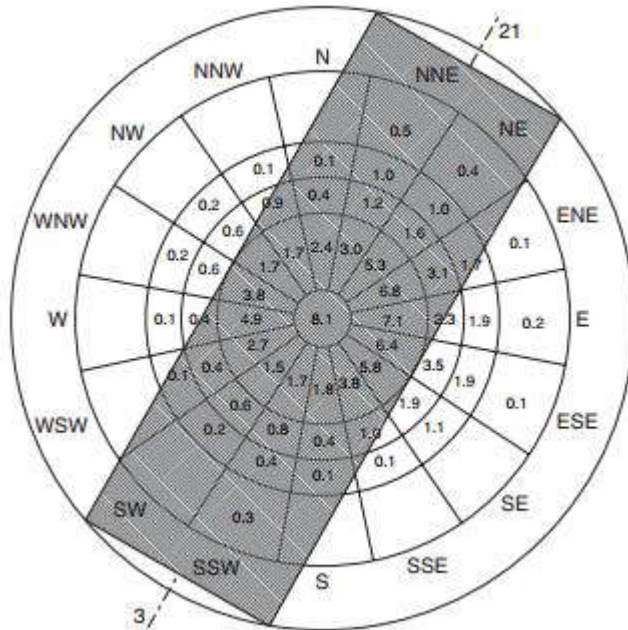
2.7. Metode Analisis Windrose

Data angin diolah menjadi prosentase masing-masing arah angin pada kecepatan tertentu dari semua kejadian. Prosentase tersebut disebar dalam bentuk windrose. Disebut juga mawar angina, windrose adalah sebuah representasi diagram yang umum digunakan untuk analisis vektor grafis data angin, kecepatan dan prosentasenya pada arah derajat azimuth yang dibagi per sepuluh

derajat. Kecepatan ditulis pada jarak antara lingkaran sesuai skala dengan besarnya menjauh dari pusat windrose dan prosentase di arah tertentu ditulis pada daerah didalam potongan garis dan lingkaran. Contoh windrose dapat dilihat pada gambar 4.17 (windrose pada arah 135° – 315° azimuth). Bentuk data yang seperti ini memudahkan analisis kondisi angin dengan memberi angka prosentase kejadian pada masing-masing arah azimuth yang telah terbagi. Untuk mengetahui total prosentase kejadian angin pada satu bentang derajat azimuth tertentu dengan batas kecepatan *crosswind* yang dibolehkan, cukup menarik garis lurus sepanjang bentang arah angin. Tarik pula dua garis paralel dengan garis tersebut pada sisi kanan dan kiri relatif pada sudut bentangnya. Jarak dua garis paralel terhadap garis arah bentang adalah skala dari kecepatan *crosswind* yang dibolehkan pada bandara. Tiga garis penanda itu disebut juga template. Untuk mengetahui *coverage*, atau cakupan angin pada suatu bentang arah cukup menjumlahkan semua angka kejadian yang berada dalam daerah template. Proses analisis tersebut adalah analisis windrose secara manual.

Hasil dari analisis windrose adalah evaluasi apakah cakupan angin yang terjadi di arah tersebut mencapai 95% hembusan dari total kejadian. Hal ini mengasumsikan analisis windrose digunakan untuk perencanaan arah *runway*. Jikalau diambil windrose adalah pada gambar 2.17, maka total cakupan angin dapat diketahui sebesar 76,9%. Cakupan tersebut belum memenuhi standar yang dibutuhkan, yaitu 95%. Karena tidak dapat digunakan sebagai arah *runway*, maka ada dua pilihan dari hasil tersebut. Pertama adalah mencari arah *runway* lainnya, yaitu dengan memutar template sampai diketemukan arah bentang yang mempunyai cakupan angin 95% atau lebih. Kedua, dapat ditambahkan *runway* lainnya di arah selain bentang tersebut. Misalkan untuk contoh gambar 2.17, arah lainnya dapat digunakan 90 – 270 azimuth. Contoh solusinya seperti pada gambar 2.18. Pada gambar 2.18 itu total cakupan angin bertambah menjadi

96,6%, dua *runway* tersebut pun lolos standar dan dapat digunakan sebagai desain.

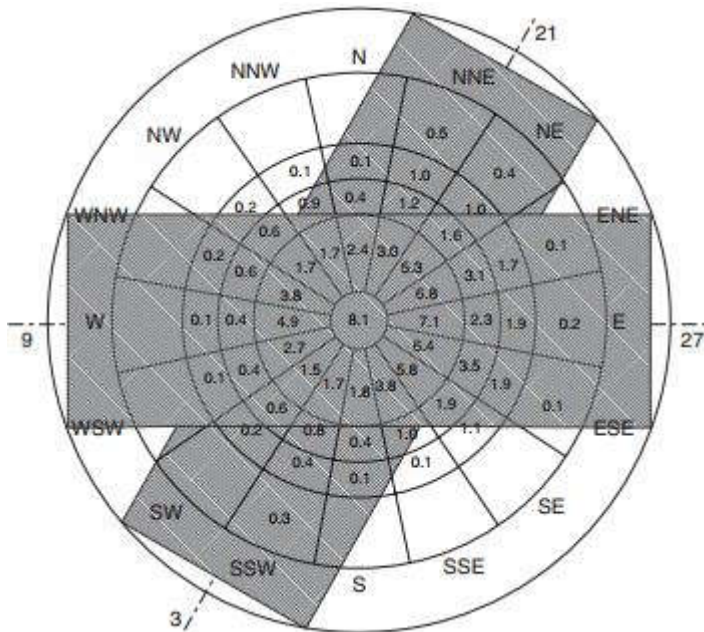


Gambar 2.17: Windrose dengan template pada arah 30 – 210 derajat azimuth

(Horenjeff, 2010)

Walaupun telah dipaparkan metode analisis manual yang telah sering digunakan di buku teks terkait, pada tugas akhir ini akan digunakan metode lain guna mengetahui arah *runway*. Tepatnya, menggunakan program bantu ALL_WEATHER Wind Rose Form di website Airports GIS FAA yang sudah dikontrol oleh lembaga FAA. Metode tersebut menggunakan perhitungan komputer guna mengetahui *coverage runway* di arah tertentu. Program tersebut dapat diakses dengan mengetik tautan berikut pada program browser internet: <https://airports->

gis.faa.gov/agis/publicToolbox/windroseForm.jsp. Gambar 2.19 menyajikan tampilan antarmuka program bantu ALL_WEATHER Wind Rose Form.

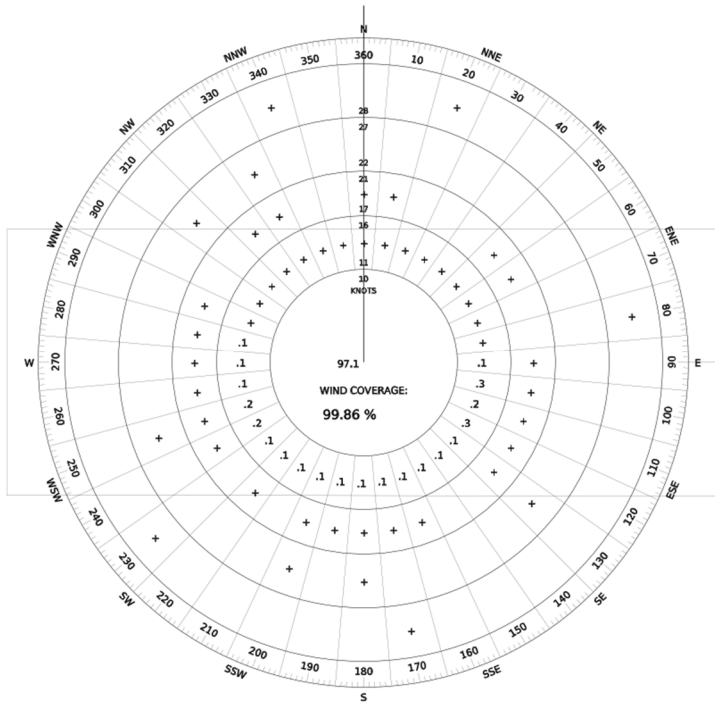


Gambar 2.18: Wind rose dengan template pada arah 30 – 210 dan 90 – 270 (Horenjeff, 2010)

Metode ini dipilih disebabkan oleh tujuan kemudahan, akurasi dan keabsahan analisis data angin yang didapatkan dari lembaga yang sama (FAA). Adapun jika penentuan prosentase windrose secara manual hasilnya dapat jauh dari sebenarnya, dan antar pelaksana analisis dapat berbeda hasilnya karena faktor kesalahan manusia. Selain itu sebagai perbandingan metode dari penelitian sebelumnya.

Untuk mengetahui prosentase cakupan angin yang dibolehkan pada suatu bentang dapat dimasukkan kejadian pada masing-masing rentang kecepatan angin pada form “ALL_WEATHER Wind Rose Form”, juga jumlah dan derajat bentang arah yang ingin dianalisis, lalu kecepatan *crosswind* yang dibolehkan serta *tailwind*. Diperhatikan bahwa pada tugas akhir ini, data angin didapatkan dari Wind Rose Form. Alat ini memuat data angin untuk berbagai bandara di seluruh dunia ketika dikerjakannya tugas akhir ini. Halaman tersebut dapat diakses dengan mengetik tautan berikut pada browser internet: <https://airports-gis.faa.gov/windRose/>. Diperhatikan bahwa input kolom *tailwind* dapat diisi 60 knot untuk menandakan bahwa *runway* akan dibuat dua arah dan diisi 5 knot untuk menandakan *runway* dibuat satu arah. Contoh hasil analisis ada pada gambar 2.20. Pada gambar tersebut disajikan wind rose yang mencakup semua *crosswind* pada bentang 90 – 270 derajat azimuth dengan asumsi

crosswind maksimal yang dibolehkan sebesar 15 knot dan arah *runway* dibolehkan dua arah.



Gambar 2.20: Contoh hasil analisis wind rose program bantu desain bandara ALL_WEATHER Wind Rose Form FAA (FAA, 2016)

Di contoh tersebut diketahui bentang 90 – 270 derajat azimuth mempunyai cakupan angin sebesar 99.86%, melebihi dari yang ditentukan FAA yaitu 95%. Dari hasil itu dapat disimpulkan bahwa bentang 90 – 270 dapat digunakan untuk arah *runway*.

2.8. Teknik Regresi Untuk Analisis Pola Pergerakan Pesawat

Model regresi dibutuhkan untuk meramalkan pergerakan pesawat di masa mendatang. Peramalan pergerakan pesawat menggunakan program bantu Microsoft Excel dengan pilihan regresi Linear, Polynomial ordo 2. Regresi ditampilkan pada Microsoft Excel dengan opsi “Add Trendline” saat klik kanan kelompok data yang ingin di-regresikan. Pada pilihan trendline, pilihlah salah satu macam regresi. Pada layar pilihan juga dapat dipilih “display equation on chart” untuk menampilkan persamaan regresi pada grafik. Dapat dipilih pula “display chi-square on chart” untuk menampilkan nilai chi kuadrat (R^2).

2.9. Analisis Model Regresi

Diketahuinya model regresi tidak serta merta membuat model tersebut cocok untuk meramalkan suatu nilai pergerakan pesawat di masa depan. Analisis diperlukan untuk mengevaluasi kecocokan nilai regresi terhadap populasi nilai pergerakan pesawat yang dicoba diramalkan.

Harus diperhitungkan signifikansi, pentingnya parameter stokastik dalam persamaan regresi yang diuji kecocokannya terhadap nilai asli. Salah satu cara untuk mengetahui hal tersebut ialah melakukan cek kesalahan terhadap rerata (*standard error*) dan batas kesalahan (*margin of error*) 95%. Selain itu dilakukan pula pengamatan terhadap residu, atau sisa dari nilai regresi variabel terikat. Ini adalah semua nilai di garis regresi yang mempunyai selisih dengan y asli. Pengamatan yang dilakukan meliputi kecocokan residu dengan dengan suatu pola deterministik dan seberapa jauh nilai error, yaitu selisih residu dan y asli, dari garis regresi. Tahap ini dilakukan agar diketahui mana jenis regresi yang lebih cocok dengan data pergerakan pesawat yang didapatkan.

Menguji *standard error* dapat dilakukan menggunakan rumus 2.7 dan 2.8. Menghitung *standard error* dapat menghasilkan selang kepercayaan 95% dari populasi total dalam satuan rerata y .

Standard error adalah standar deviasi dari populasi apabila sampel lain dari data diambil sebagai patokan untuk garis regresi baru kepada garis regresi dengan sampel yang diketahui. Selang kepercayaan adalah variansi respons dari prediksi menggunakan persamaan regresi. Angka ini memerkirakan rerata pada nilai diluar sampel dengan derajat kepercayaan 95%. Menambah jumlah sampel akan mengurangi selang kepercayaan sebab minimumnya variansi. Masing-masing regresi lalu dihitung nilai *standard error* dan batas kesalahannya.

$$\text{Standar Error} = SE = \frac{Stdev}{\sqrt{N}} \quad (2.7)$$

$$Stdev = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.8)$$

Dimana:

Stdev = Deviasi standar populasi

N = Jumlah sampel

Sebelum menginjak topik tentang selang prediksi dan toleransi, perlu diuji apakah populasi masuk kedalam distribusi normal. Ini adalah distribusi probabilitas kontinyu yang sering digunakan untuk memprediksi suatu nilai pada populasi yang tak diketahui. Untuk menguji apakah populasi pergerakan pesawat secara menyeluruh masuk kedalam distribusi normal akan digunakan program komputer Minitab. Langkah pengujian menggunakan software ini akan dirinci langkah demi langkah.

Mengecek distribusi normal di program komputer Minitab versi 17 dapat dilakukan dengan membuka program minitab. Setelah program siap menerima input, masukkan data pada kolom dengan satu kelompok variabel seragam berbaris pada setiap kolom. Klik panel “stat” pada atas layar program, lalu panel “basic statistik” dan kemudian “Normality”. Pilih variabel yang ingin diperiksa normalitasnya pada kolom pilihan variabel, lalu pilih persentil dan jenis tes normalitas yang ingin dijalankan. Parameter normalitas tes masing-masing berbeda dan telah disajikan dalam

grafik. Pada tugas akhir ini tidak akan dibahas parameter tersebut dan hanya akan ditabelkan hasil output dari program Minitab 17.

Sebab telah diketahui bahwa populasi masuk kepada distribusi normal, maka dapat diketahui selang toleransi dari populasi y . Selang toleransi (*Tolerance Interval*) adalah selang dimana sekian (90-99%) nilai y di populasi terletak. Rumus 2.9 menjabarkan rumus untuk menghitung selang toleransi. Setiap persamaan akan dihitung toleransinya untuk batas atas dan bawah. Pada perhitungan mengasumsikan nilai kepercayaan 95% untuk 99% populasi. Nilai konstanta K didapat dari tabel pada Lampiran 1.

$$L_{UL} = \bar{y} \pm (k \times stdev) \quad (2.9)$$

Parameter statistik yang telah dibahas akan dievaluasi untuk masing-masing model regresi yang didapatkan lewat program. Akhirnya, model regresi yang dipilih akan digunakan untuk meramalkan pergerakan pesawat di *runway* bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.

2.10. *Runway Occupancy Time (ROT)*

Guna menghitung ROT digunakan rumus 2.10. ROT adalah waktu pemakaian *runway*, yaitu waktu dari pesawat melewati batas *runway* hingga masuk *taxiway*. Pada kenyataan di lapangan, banyak hal yang memengaruhi ROT, tidak seperti fungsi di rumus 2.10 dimana tidak ada faktor pilot maupun lingkungan. Begitupun pada tugas akhir ini akan menggunakan nilai ROT yang teoritis, sesuai dengan rumus 2.10.

$$ROT = \frac{V_o - V_{td}}{2a_1} + 3 + \frac{V_{td} - V_e}{2a_2} + t \quad (2.10)$$

Dimana:

V_o = Kecepatan Pesawat melewati threshold di udara (m/dt)

- V_{td} = Kecepatan Pesawat waktu *touchdown* di *runway* (m/dt)
 V_e = Kecepatan Pesawat sebelum masuk exit *taxiway* (m/dt)
 t = Waktu pesawat membelok dari *runway* menuju exit *taxiway* (detik)
 a_1 = Laju perlambatan di udara (m/s²)
 a_2 = Laju perlambatan di darat (m/s²)

2.11. Metode Perhitungan Jam Puncak

Perhitungan volume jam puncak dalam Tugas Akhir ini diperlukan:

1. Sebagai dasar acuan kondisi paling maksimum pemakaian *runway*.
2. Untuk mengetahui tingkat pergerakan maksimum pada kondisi peak hour.

Berdasarkan data eksisting jumlah pergerakan pesawat dalam satu tahun dapat diketahui rasio jumlah pergerakan pesawat total 1 tahun. Rumus 2.11 menjabarkan cara mendapat rasio tersebut.

$$R_{month} = \frac{N_{month}}{N_{year}} \quad (2.11)$$

Dimana:

R_{month} = Peak month rasio

N_{month} = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* saat bulan puncak

N_{year} = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* dalam 1 tahun.

Rasio jumlah pergerakan pesawat pada hari puncak terhadap jumlah pergerakan pesawat bulan puncak adalah:

$$R_{day} = \frac{N_{day}}{N_{month}} \quad (2.12)$$

Dimana:

R_{day} = Peak day rasio

N_{day} = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* dalam 1 hari

N_{month} = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* saat bulan puncak

Rasio jumlah pergerakan pesawat pada jam puncak terhadap jumlah pergerakan pesawat total 1 hari adalah:

$$R_{hour} = \frac{N_{hour}}{N_{day}} \quad (2.13)$$

Dimana:

R_{hour} = Peak hour rasio

N_{hour} = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* saat jam puncak

N_{day} = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* dalam 1 hari

Untuk memperkirakan jumlah pergerakan pesawat tahun rencana untuk kondisi *peak hour* adalah dengan langsung mengalikan R_{hour} dengan peramalan jumlah pergerakan hari puncak pada bulan puncak tahun rencana.

2.12. Perumusan Matematis Kapasitas Jenuh

Tipe-tipe model ini menentukan jumlah operasi pesawat terbang maksimum yang dapat ditampung oleh suatu sistem *runway* dalam jangka waktu tertentu. Dalam model-model tersebut, kapasitas adalah sama dengan kebalikan waktu pelayanan rata-rata terboboti dari seluruh pesawat terbang yang dilayani.

2.12.1 Pengembangan Model untuk Kedatangan (*Arrivals Only*)

Kapasitas suatu *runway* yang hanya digunakan untuk melayani pesawat yang datang dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut (Horonjeff & McKelvey, 1994):

1. Campuran pesawat terbang, yang biasanya diberi karakter oleh penggolongan pesawat ke dalam beberapa kelas menurut kecepatan mendekati *runway* (*approach speed*).
2. Kecepatan mendekati *runway* dari berbagai kelas pesawat.
3. Panjang jalur pendekatan umum ke landasan dari jalur masuk (*entry*) atau gerbang ILS ke ambang *runway*.
4. Aturan-aturan jarak pisah lalu lintas udara minimum atau jarak pisah yang diamati praktis apabila tidak ada peraturan.
5. Besarnya kesalahan dalam waktu kedatangan di gerbang dan kesalahan kecepatan pada jalur pendekatan umum ke *runway*.
6. Probabilitas tertentu dari pelanggaran terhadap jarak pisah lalu lintas udara minimum yang dapat diterima.
7. Waktu pemakaian *runway* rata-rata berbagai kelas pesawat dalam campuran dan besarnya pencaran (*dispersion*) dalam waktu rata-rata tersebut.

2.12.1.1 Keadaan Bebas Kesalahan

Dalam keadaan ini pesawat bisa menjaga jarak minimum yang disyaratkan terhadap pesawat lain. Dengan ketepatan yang sedikit berkurang dan untuk membuat perhitungan menjadi lebih mudah, pesawat terbang dikelompokkan ke dalam beberapa kelas kecepatan yang berbeda V_i , V_j , dan seterusnya. Untuk mendapatkan waktu pelayanan terboboti (*weighted service time*) untuk kedatangan, perlu untuk merumuskan matriks selang waktu di antara kedatangan pesawat di ambang *runway*. Dengan memperoleh matriks ini dan prosentase berbagai kelas dalam campuran pesawat, waktu pelayanan terboboti dapat dihitung. Kebalikan waktu pelayanan terboboti adalah kapasitas *runway*. Misalkan matriks bebas kesalahan adalah $[M_{ij}]$, selang waktu minimum di ambang *runway* untuk pesawat terbang dengan kelas

kecepatan i yang diikuti pesawat kelas j . Dimisalkan pula prosentase pesawat kelas i dalam campuran adalah p_i , dan pesawat kelas j adalah p_j , maka perhitungannya dapat dilihat pada Persamaan 2.14 s.d Persamaan 2.16.

$$T_j - T_i = [T_{ij}] = [M_{ij}] \quad (2.14)$$

Dimana:

T_i = waktu dimana pesawat i yang di depan melewati ambang *runway*

T_j = waktu dimana pesawat j yang di belakang melewati ambang *runway*.

$[T_{ij}]$ = matriks pemisahan waktu sebenarnya di ambang *runway* untuk dua kedatangan yang berurutan, pesawat dengan kelas kecepatan i diikuti oleh pesawat dengan kelas kecepatan j .

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij} M_{ij} = \sum p_{ij} T_{ij} \quad (2.15)$$

$$C = \frac{1}{E [T_{ij}]} \quad (2.16)$$

Dimana:

$E[T_{ij}]$ = waktu pelayanan rata-rata (mean), atau waktu antarkedatangan di ambang *runway* untuk campuran pesawat p_{ij} = probabilitas pesawat yang di depan i , akan diikuti oleh pesawat dibelakangnya j .

C = kapasitas *runway* untuk mengolah campuran pesawat yang datang ini.

Untuk mendapatkan waktu antar kedatangan di ambang landasan pacu, perlu untuk mengetahui apakah kecepatan pesawat yang di depan (V_i), lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan pesawat di belakangnya (V_j).

2.12.1.1.1 Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$)

Keadaan dimana kecepatan mendekati landasan dari pesawat di depan lebih kecil dari yang berada di belakangnya. Pemisahan waktu minimum di ambang *runway* dapat dinyatakan dalam jarak δ_{ij} dan kecepatan dari pesawat yang ada di belakang, V_j . Meskipun demikian, apabila waktu pemakaian *runway* dari kedatangan R_i lebih besar dari pemisahan di udara, maka akan menjadi pemisahan minimum di ambang landasan. Persamaan untuk keadaan ini adalah

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} \quad (2.17)$$

Dimana:

γ = panjang jalur pendekatan umum ke *runway*

δ_{ij} = jarak pisah minimum yang diperbolehkan di antara dua pesawat yang datang, pesawat i di depan dan pesawat j di belakang, di sembarang tempat di sepanjang jalur pendekatan umum ini

V_i = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di depan dari kelas i

V_j = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j

R_i = waktu pemakaian *runway* dari pesawat di depan kelas i .

2.12.1.1.2 Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$)

Untuk keadaan dimana kecepatan saat mendekati landasan dari pesawat yang berada di depan lebih besar daripada kecepatan pesawat di belakangnya, pemisahan waktu minimum di ambang landasan dapat dinyatakan dalam jarak δ_{ij} , panjang jalur pendekatan umum ke landasan γ , dan kecepatan saat mendekati landasan V_i dan V_j dari pesawat di depan dan di belakang. Hal ini bersesuaian dengan pemisahan jarak minimum δ_{ij} di sepanjang jalur pendekatan umum ke landasan, yang sekarang terjadi di jalur masuk dan bukannya di ambang landasan. Persamaan untuk keadaan ini diperlihatkan pada Persamaan 2.18.

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta U}{V_I} + \gamma \left(\frac{1}{V_J} - \frac{1}{V_I} \right) \quad (2.18)$$

Apabila pengendalian dilakukan untuk mempertahankan pemisahan di antara kedua pesawat ketika pesawat yang berada di depan melewati jalur masuk, maka perhitungannya menjadi Persamaan 2.19.

$$T_{ij} = T_j - T = \frac{\delta U}{V_I} + \gamma \left(\frac{1}{V_J} - \frac{1}{V_I} \right) \quad (2.19)$$

Dimana:

γ = panjang jalur pendekatan umum ke *runway*

δ_{ij} = jarak pisah minimum yang diperbolehkan di antara dua pesawat yang datang, pesawat i di depan dan pesawat j di belakang, di sembarang tempat di sepanjang jalur pendekatan umum ini V_i = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di depan dari kelas i

V_j = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j

R_i = waktu pemakaian *runway* dari pesawat di depan kelas i.

2.12.1.2 Perhitungan Mengenai Kesalahan Posisi

Model di subbab sebelumnya menggambarkan situasi suatu keadaan sempurna tanpa kesalahan. Untuk memperhitungkan kesalahan, ditambahkan waktu sangga terhadap waktu pisah minimum. Lamanya waktu sangga itu tergantung pada probabilitas penyimpangan yang dapat diterima. Apabila posisi pesawat merupakan suatu peubah (variabel) sembarang, terdapat probabilitas yang sama bahwa ia dapat lebih cepat atau lebih lambat dari jadwal. Apabila pesawat itu lebih cepat dari jadwal, patokan pemisahan minimum akan dilanggar.

Apabila kesalahan posisi itu didistribusikan secara normal, maka daerah kurva bentuk lonceng menyatakan probabilitas

pelanggaran aturan pemisahan minimum sebesar 50 persen. Oleh karena itu, untuk memperkecil probabilitas pelanggaran ini, pesawat harus diatur untuk sampai di posisi ini dengan membuat waktu sangga terhadap patokan pemisahan minimum. Dalam keadaan ini, hanya apabila pesawat jauh lebih cepat dari jadwal sehingga melewati daerah kurva yang lebih kecil, pelanggaran terhadap pemisahan akan terjadi. Tentu saja probabilitas terjadinya hal ini akan semakin kecil. Dalam kenyataannya, para pengendali lalu lintas udara menjadwalkan pesawat dengan memakai waktu sangga sehingga probabilitas pelanggaran terhadap aturan pemisahan minimum berada pada tingkat yang dapat diterima.

Seperti yang akan diperlihatkan dalam keadaan merapat, penyangga merupakan nilai yang tetap. Meskipun demikian, dalam keadaan merenggang, penyangga tidak harus merupakan nilai yang tetap dan pada umumnya lebih kecil dari penyangga pada keadaan merapat. Dengan mempunyai model-model untuk penyangga, dibuat matriks waktu sangga $[B_{ij}]$ untuk pesawat dengan kecepatan i yang diikuti oleh pesawat dengan kelas kecepatan j . Matriks ini ditambahkan pada matriks bebas-kesalahan untuk menentukan matriks waktu antarkedatangan sebenarnya, yang dari matriks ini kapasitas dapat ditentukan. Hubungan ini diberikan oleh Persamaan 2.20.

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij} [M_{ij} + B_{ij}] \quad (2.20)$$

2.12.1.2.1 Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$)

Dalam hal ini, kecepatan mendekati landasan dari pesawat yang berada di depan lebih kecil daripada di belakang. Misalkan $[T_{ij}]$ merupakan selang waktu minimum sebenarnya di antara pesawat kelas i dan j dan dianggap bahwa pemakaian *runway* adalah lebih kecil dari $[T_{ij}]$. Nilai rata-rata $[T_{ij}]$ sebagai $E[T_{ij}]$ dan e_0 sebagai suatu kesalahan random yang didistribusikan secara normal rata-rata nol dengan simpangan baku σ_0 .

$$T_{ij} = E[T_{ij}] + e_0 \quad (2.21)$$

Tetapi untuk tidak melanggar patokan aturan pemisahan minimum, nilai $E[T_{ij}]$ harus ditambah dengan penyangga sebesar B_{ij} . Oleh karena itu, didapatkan persamaan 2.22 dan 2.23.

$$E[T_{ij}] = M_{ij} + B_{ij} \quad (2.22)$$

$$T_{ij} = M_{ij} + B_{ij} + e_0 \quad (2.23)$$

Untuk keadaan ini pemisahan minimum di ambang *runway* diberikan oleh Persamaan 2.23. Tujuannya adalah untuk mendapatkan probabilitas pelanggaran p_v tertentu, yaitu besarnya penyangga yang dibutuhkan.

$$p_v = P(T_{ij} < \frac{\delta_{ij}}{v_j}) \quad (2.24)$$

$$p_v = P(\frac{\delta_{ij}}{v_j} + B_{ij} + e_0 < \frac{\delta_{ij}}{v_j}) \quad (2.25)$$

Persamaan 2.25 disederhanakan menjadi $p_v = P(B_{ij} < -e_0)$ dengan menganggap bahwa kesalahan itu didistribusikan secara normal dengan simpangan baku σ_0 , nilai penyangga dapat dicari dari Persamaan 2.26.

$$p_v = P(B_{ij} < -e_0) \quad (2.26)$$

Dimana:

q_v = nilai dimana distribusi normal standar kumulatif mempunyai nilai $(1-p_v)$

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v \quad (2.27)$$

Dimana:

q_v = nilai dimana distribusi normal standar kumulatif mempunyai nilai $(1-p_v)$

Dengan kata lain, hal ini berarti besarnya simpangan baku dari rata-rata dalam suatu prosentase tertentu di bawah kurva normal akan didapat. Sebagai contoh, apabila $p_v = 0,05$, maka q_v adalah prosentase ke-95 dari distribusi dan besarnya = 1,65. Dalam keadaan merapat, waktu sangga adalah suatu konstanta yang bergantung pada besarnya pancaran kesalahan dan probabilitas pelanggaran p_v yang dapat diterima.

2.12.1.2.2 Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$)

Berikutnya merupakan keadaan dimana kecepatan pada saat mendekati ambang landasan dari pesawat yang berada di depan lebih besar daripada yang dibelakangnya. Dalam hal ini pemisahan di antara pesawat bertambah dari jalur masuk. Model didasarkan pada anggapan bahwa pesawat yang berada di belakang harus dijadwalkan pada jarak yang tidak kurang dari δ_{ij} mil di belakang pesawat yang berada di depan ketika yang terakhir ini berada pada jalur masuk. Begitupun, dianggap bahwa pemisahan yang ketat hanya dilakukan oleh pengendali lalu lintas udara ketika pesawat yang berada di belakang mencapai jalur masuk.

Untuk keadaan ini probabilitas pelanggaran hanyalah probabilitas bahwa pesawat yang berada di belakang mencapai pintu masuk. Anggapan ini juga diperlihatkan. untuk keadaan ini probabilitas pelanggaran hanyalah probabilitas bahwa pesawat yang berada di belakang akan sampai di jalur masuk sebelum pesawat yang di depan berada pada suatu jarak tertentu di sebelah dalam jalur masuk. Secara matematis hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$p_v = P \left[T_j - \left(\frac{\delta_{ij} + \gamma}{v_j} \right) < T_i - \frac{\gamma}{v_i} \right] \quad (2.28)$$

Atau

$$p_v = P \left[P \left[T_i - T_i - \left(\frac{\delta_{ij}}{v_j} \right) < \left(\frac{\gamma}{v_j} - \frac{\gamma}{v_i} \right) \right] \right] \quad (2.29)$$

Dengan menggunakan Persamaan 2.28 dan Persamaan 2.29 untuk menghitung jarak sebenarnya di ambang landasan dan disederhanakan menjadi persamaan 2.30.

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v - \delta_{ij} \left(\frac{\gamma}{v_j} - \frac{\gamma}{v_i} \right) \quad (2.30)$$

Oleh karena itu, untuk keadaan merenggang besarnya penyangga dikurangi dari yang dibutuhkan dalam keadaan rapat, seperti terlihat pada Persamaan 2.30. Nilai penyangga yang negatif tidak diperbolehkan dan oleh sebab itu, penyangga merupakan suatu nilai positif dengan minimum sama dengan nol.

2.12.2 Pengembangan Model untuk Keberangkatan (*Departures Only*)

Ketika keberangkatan dinyatakan bebas untuk lepas landas berdasarkan interval waktu minimum atau waktu antar keberangkatan t_d , kapasitas keberangkatan landasan pacu C_d diberikan oleh Persamaan 2.31 dan Persamaan 2.32.

$$C_d = \frac{3600}{E(t_d)} \quad (2.31)$$

$$E(t_d) = \sum [p_{ij}] [t_d] \quad (2.32)$$

Dimana:

$E(td)$ = waktu pelayanan rata-rata (mean), atau waktu antar keberangkatan di ambang *runway* untuk campuran pesawat.

$[pij]$ = probabilitas pesawat yang di depan i , akan diikuti oleh pesawat dibelakangnya j .

$[td]$ = matriks waktu antar keberangkatan.

2.12.3 Pengembangan Model-Model untuk Operasi Campuran

Model ini didasarkan pada empat aturan pengoperasian yang sama seperti halnya model-model yang dikembangkan oleh AIL (*Airborne Instruments Laboratory*). Aturan-aturan itu adalah sebagai berikut:

1. Kedatangan mempunyai prioritas daripada keberangkatan.
2. Hanya satu pesawat dapat berada di *runway* pada sembarang waktu.
3. Keberangkatan tidak dapat dilaksanakan apabila pesawat yang datang berikutnya berada pada jarak yang kurang dari suatu jarak tertentu dari ambang *runway*, biasanya 2 nmi dalam kondisi IFR.
4. Keberangkatan yang berurutan diatur sehingga pemisahan waktu minimumnya sama dengan waktu pelayanan keberangkatan.

Diagram waktu-jarak dapat digambar untuk memperlihatkan pengurutan operasi campuran menurut aturan-aturan yang disebutkan di atas. Pada gambar ini T_i dan T_j merupakan waktu dimana pesawat yang ada di depan (i) dan yang ada di belakang (j), melewati ambang kedatangan, δ_{ij} adalah pemisahan minimum di antara kedatangan, T_1 adalah waktu dimana pesawat yang datang meninggalkan *runway*, T_d adalah waktu dimana pesawat yang berangkat mulai lepas landas, δ_d adalah jarak minimum pada jarak mana pesawat yang datang harus berada (dari ambang landasan), T_2 adalah waktu yang menyatakan saat terakhir dimana keberangkatan dapat dilakukan, R_i adalah waktu pemakaian

runway untuk suatu kedatangan, G adalah perbedaan waktu dimana keberangkatan dapat dilakukan, dan t_d adalah waktu pelayanan yang dibutuhkan untuk keberangkatan.

Karena kedatangan diberikan prioritas, pesawat yang datang diurutkan dengan pemisahan minimum dan keberangkatan tidak dapat dilakukan kecuali terdapat perbedaan waktu G di antara kedatangan yang berurutan.

$$G = T_2 - T_1 > 0 \quad (2.33)$$

$$T_1 = T_i + R_i \quad (2.34)$$

$$T_2 = T_j - \frac{s_{IJ}}{v_j} \quad (2.35)$$

Tetapi diasumsikan bahwa keadaan seperti pada Persamaan 2.33 dan Persamaan 2.35, maka dapat ditulis sebagai persamaan 2.36.

$$T_2 - T_1 > \left(T_j - \frac{\delta_d}{v_j} \right) - (T_i + R_i) > 0 \quad (2.36)$$

Untuk melakukan satu keberangkatan di antara dua kedatangan yang berurutan, didapat persamaan 2.37.

$$T_{j-i} > R_i + \frac{\delta_d}{v_j} \quad (2.37)$$

Dengan pengembangan sederhana persamaan ini, jelas bahwa waktu antarkedatangan rata-rata yang dibutuhkan $E[T_{ij}]$ untuk melakukan n keberangkatan di antara dua kedatangan diberikan oleh Persamaan 2.38.

$$E[T_{ij}] > E[R_i] + E\left[\frac{\delta_d}{v_j}\right] + (n - 1)E[T_d] \quad (2.38)$$

Dimana:

$E[T_{ij}]$ = waktu dimana pesawat yang ada di depan (i) dan yang ada di belakang (j), melewati ambang kedatangan

$E[R_i]$ = waktu pemakaian *runway* untuk suatu kedatangan

δd = pemisahan minimum di antara kedatangan

V_j = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j

$E[td]$ = waktu pelayanan yang dibutuhkan untuk keberangkatan

Harus diingat bahwa suku terakhir dalam Persamaan 2.38 adalah nol apabila hanya satu keberangkatan yang akan disisipkan di antara dua kedatangan. Suatu faktor kesalahan σG qv dapat ditambahkan pada persamaan di atas untuk memperhitungkan pelanggaran terhadap perbedaan jarak. Kapasitas *runway* pada operasi campuran diberikan pada Persamaan 2.39 berikut:

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd}) \quad (2.39)$$

Dimana:

C_m = Kapasitas *runway* untuk operasi campuran

$E(\Delta T_{ij})$ = Nilai waktu antarkedatangan

n_d = Jumlah keberangkatan yang dapat dilakukan di antara dua Kedatangan

p_{nd} = Probabilitas jumlah keberangkatan n_d dapat dilakukan

2.13 Evaluasi Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin dalam Memfasilitasi Pertumbuhan Pergerakan Pesawat

Tugas akhir oleh Muhammad Habid Ocherudy ini memaparkan metode dan hasil evaluasi fasilitas sisi udara Bandara Syamsudin Noor terkait pertumbuhan pergerakan pesawatnya. Ocherudy (2016). Pada Tugas Akhir tersebut dilakukan evaluasi kapasitas fasilitas sisi udara bandara dan pertumbuhan pergerakan

pesawat dalam periode 5 tahun terakhir. Dilakukan pula peramalan peningkatan volume lalu lintas 5 tahun mendatang dan perbandingan hasil evaluasi dan peramalan tersebut. Setelah itu, perencanaan dimensi dan tebal perkerasan *runway* guna memfasilitasi kebutuhan pergerakan pesawat 5 tahun mendatang. Selanjutnya, perencanaan letak dan dimensi serta tebal perkerasan *exit taxiway* dan *taxiway* untuk pergerakan pesawat 5 tahun ke depan. Terakhir, perencanaan dimensi dan tebal perkerasan apron untuk pergerakan pesawat 5 tahun ke depan.

Relevansi tugas akhir Ocherudy dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah hasil analisis windrose yang dilakukan olehnya yang membuktikan masalah *crosswind* pada Bandara Syamsudin Noor. Dimana pada analisis terlampir di literturnya, menjelaskan dua arah angin dominan (frekuensi terbesar) berada pada daerah bandara. Hal itu, seperti dijelaskan dalam bab sebelumnya pada bagian latar belakang, tidak semestinya terjadi pada bandara dengan single *runway*, sebab pesawat terbang menggunakan angin dari arah berlawanan untuk *takeoff* dan juga pesawat menghindari *crosswind* berlebih agar tidak terjadi kesalahan arah akibat dorongan maupun kecelakaan.

Tugas akhir ini akan mereferensi tugas akhir sebelumnya dan menganalisis windrose dengan beberapa hal yang berbeda. Perbedaan tugas akhir ini dengan “Evaluasi Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin dalam Memfasilitasi Pertumbuhan Pergerakan Pesawat” oleh Habid Ocherudy adalah metode dan sumber data untuk analisis windrose. Tugas Akhir ini akan menganalisis cakupan angin pada bandara Syamsudin Noor dengan program Airports GIS FAA menggunakan ALL_WEATHER Wind Rose Form dan sumber data FAA Wind Rose Form. Tugas akhir ini lalu akan memperkirakan tahun kebutuhan *runway* kedua dan merencanakan *runway* kedua tersebut berdasarkan hasil analisis windrose yang telah dilakukan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III METODOLOGI

Bab Metodologi merupakan bab yang menyajikan langkah penyelesaian dari permasalahan dalam Tugas Akhir ini. Adapun isi dari bab ini adalah Studi Literatur, Analisa Data, Penentuan Letak dan Arah *Runway*, Peramalan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat, Penentuan Tahun Kebutuhan *Runway*, Perencanaan *Runway*, *Exit Taxiway* dan *Taxiway* Rencana, Evaluasi Kinerja *Runway* Rencana Dengan Simulasi Waktu Beroperasi, dan Kesimpulan Dan Saran.

3.1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan berbagai bahan referensi yang berhubungan dengan studi. Bahan referensi tersebut termasuk buku teks, jurnal ilmiah, maupun materi perkuliahan.

Studi yang berkaitan dengan studi sebelumnya, yaitu analisis Ocherudy (2016) juga dijadikan dasar analisis. Proses penggunaan software Airports GIS FAA juga menjadi literatur penting untuk analisis arah dan jumlah *runway*.

3.2. Pengumpulan Data Sekunder

Dalam studi ini diperlukan data-data sekunder untuk mendukung keakuratan dari hasil analisis, diantaranya adalah:

1. Tipe pesawat yang menggunakan bandara dan karakteristiknya selama 5 tahun belakangan.
2. Layout dan Master Plan Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.
3. Sistem *runway* dan *taxiway*.
4. Pergerakan pesawat pada setiap jam, hari, dan bulan selama 5 tahun terakhir.
5. Jadwal penerbangan.
6. Kebijakan terkait *runway* dan *taxiway* yang berlaku pada Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.

7. Data analisis windrose pada Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin.

3.3. Analisis Data

Setelah semua data sekunder dikumpulkan, maka data-data tersebut dapat dianalisis agar memenuhi tujuan dari Tugas Akhir ini. Hal itu dilakukan sebelum memberikan kesimpulan dari studi dan perencanaan yang telah dilakukan. Perbedaan antara data yang digunakan antara Tugas Akhir ini dan Tugas Akhir sebelumnya dapat dilihat pada halaman lampiran 3. Hasil akhir dari proses analisis data adalah desain *runway* rencana dan arahnya.

3.3.1. Letak dan Arah *Runway* Rencana

Didapatkan data analisis *windrose* sebagai data sekunder yang kemudian menjadi input dari penentuan letak dan arah *runway*. Menentukan arah *runway* dapat dilaksanakan dengan melihat bentang arah angin dominan dari analisis *windrose*, yang pada kasus ini akan dilakukan menggunakan Airports GIS FAA .

Tahapan analisis *windrose* menggunakan Airports GIS FAA dimulai dari mencari data *windrose* bandara yang hendak dianalisis di Wind Rose Form lewat tautan berikut: <https://airports-gis.faa.gov/windRose/> . Masukkan kode ICAO bandara, lalu klik *search*. Dari halaman yang dituju akan didapatkan nama Bandara beserta tiga macam data angin. Untuk keperluan angin segala musim, pilihlah data *All weather wind type*. Klik tautan file, lalu akan diunduh file *windrose* untuk dianalisis melalui ALL_WEATHER Wind Rose Form.

Setelah mendapat file *windrose* dengan ekstensi file .prn, langkah yang harus dilakukan adalah menuju ke halaman ALL_WEATHER Wind Rose Form di <https://airports-gis.faa.gov/agis/publicToolbox/windroseForm.jsp>. Halaman tersebut mempunyai banyak kolom isian yang diperuntukkan untuk analisis *windrose*. Kolom pilihan *Num Runways* merepresentasikan jumlah *runway* pada bandara yang ingin di analisis, pada kasus bandara Syamsudin Noor, akan dipilih 1. Kolom isian *Runway*

Orientation diisi berdasarkan arah runway, dari arah satu bentang maupun bentang yang lain tidak ada perbedaan perhitungan. Kolom isian *Crosswind Component* diisi berdasarkan komponen *crosswind* yang dibolehkan pada runway tersebut. Kolom *Tailwind Component* diisi 60 bila runway dipakai untuk operasi 2 arah pada masing-masing bentang runway dan 0 untuk satu arah. Kolom *Hourly Observations* akan terisi otomatis dengan mengunggah data windrose lewat opsi *Upload Wind Data File*. Klik tautan tersebut pada halaman, dan klik *Choose File* untuk memilih file .prn yang telah didapatkan dari Wind Rose Form. Klik tombol biru *Calculate* untuk menghitung cakupan angin pada arah runway, hasil diketahui pada angka presentase *Wind Coverage*. Untuk melihat hasil dalam bentuk windrose, klik tautan *View Windrose*.

Setelah diketahui arah dan letak *runway*, diputuskan sistem *runway* rencana yang akan dianut. Sistem akan mengikuti kombinasi arah kedua *runway*. Diagram alir proses penentuan letak dan arah *runway* dapat dilihat pada gambar 3.2.

3.3.2. Peramalan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat

Setelah dilakukan pencarian data maka dilanjutkan ke perhitungan peramalan pertumbuhan lalu-lintas udara tahun yang akan datang. Peramalan pertumbuhan lalu lintas udara dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *runway* akibat penambahan jumlah pergerakan pesawat total di *runway* di masa yang akan datang. Dihitung pula kapasitas *runway* eksisting sebagai variabel pembanding peramalan. Pada akhirnya akan diketahui tahun berapakah *runway* itu tidak akan mampu menampung pergerakan pesawat. Diagram alir proses peramalan pertumbuhan pergerakan pesawat dapat dilihat pada gambar 3.3.

3.3.3. Perencanaan Runway, Exit Taxiway, dan Taxiway

Perencanaan *runway* dan *taxiway* menentukan dimensi melalui peraturan-peraturan yang ada. Untuk perencanaan *exit taxiway* harus ditentukan jalur terpendek dari *runway* ke apron.

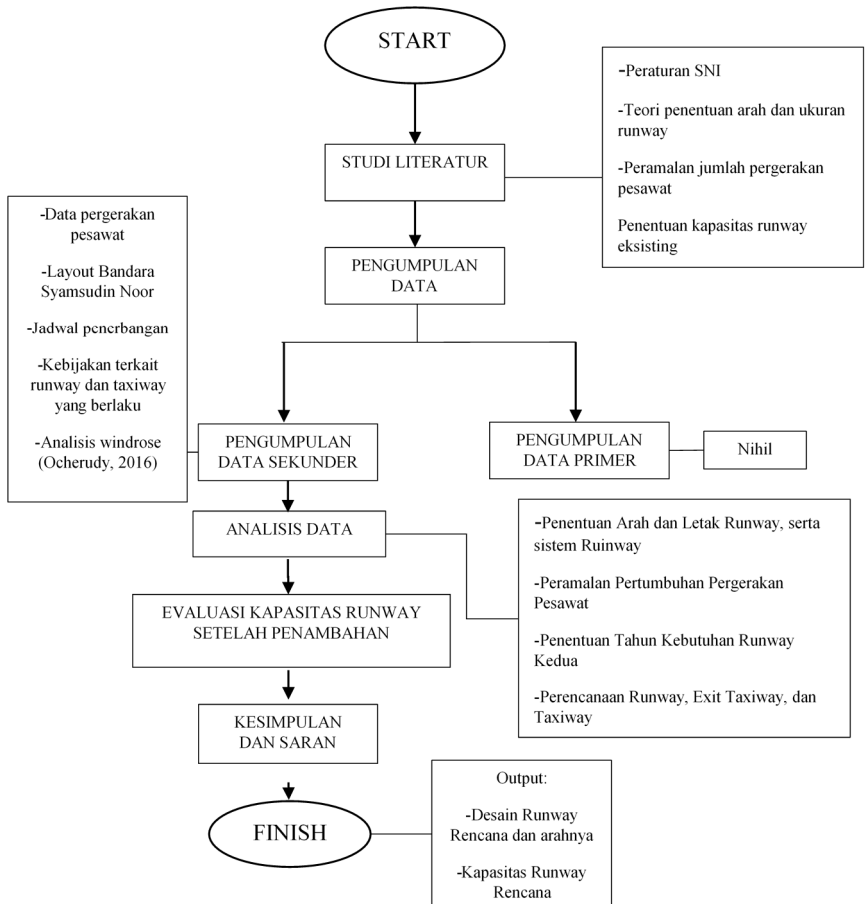
Diagram alir proses perencanaan *runway*, *exit taxiway*, dan *taxiway* dapat dilihat pada gambar 3.4

3.4. Evaluasi Kapasitas Runway Setelah Penambahan

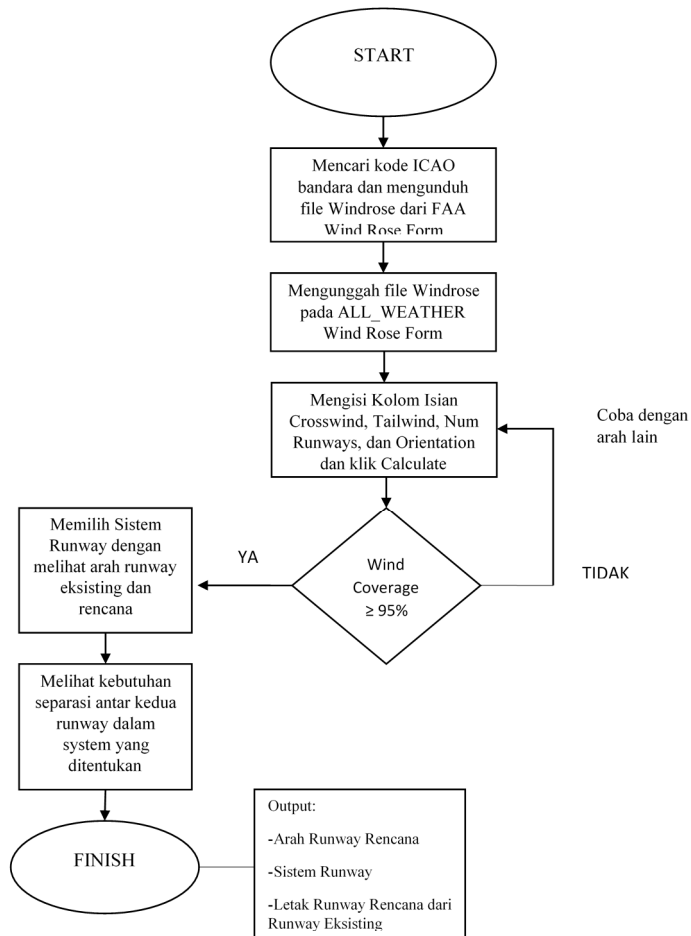
Setelah direncanakan penambahan *runway*, maka pergerakan pesawat yang selama ini terpusat pada *runway* eksisting saja dapat dipecah. Waktu beroperasi harian direncanakan dan dibuat simulasi operasi sistem *runway* rencana. Hasil dari evaluasi ini adalah kapasitas *runway* rencana dan penentuan mampunya *runway* melayani pergerakan pesawat pada keadaan eksisting.

3.5. Diagram Alir Metode Penelitian

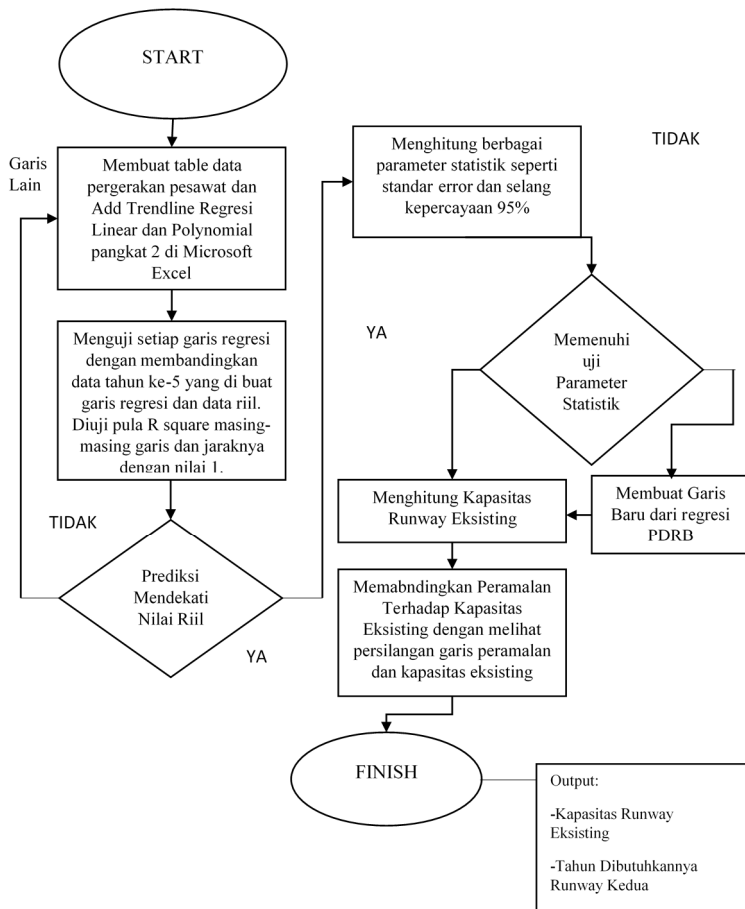
Tahap-tahap pengerjaan Tugas Akhir dapat digambarkan sebagai proses dengan awalan dan akhiran seperti diagram alir pada Gambar 3.1.



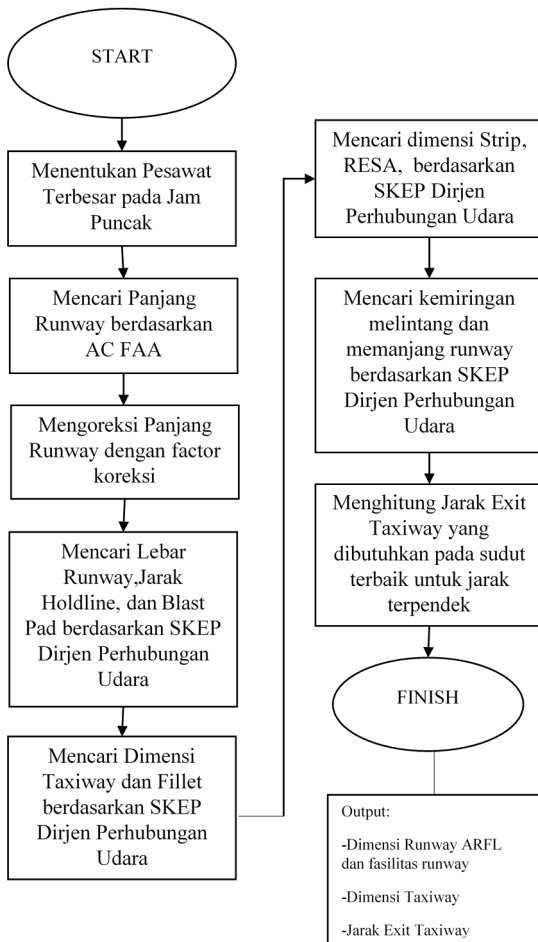
Gambar 3.1: Diagram alir pengerjaan tugas akhir



Gambar 3.2: Diagram Alir Langkah 3.3.1 Letak dan Arah Runway Rencana



Gambar 3.3: Diagram Alir Langkah 3.3.2 Peramalan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat



Gambar 3.4: Diagram Alir Langkah 3.3.3 Perencanaan Runway, Exit Taxiway, dan Taxiway

BAB IV

PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA

4.1. Penentuan Arah dan Letak *Runway*

Perencanaan *runway* tidak luput dari desain arah dan lokasi *runway* tersebut dalam sebuah bandara. *Runway* kedua bandara Syamsudin Noor pertama harus ditentukan arah bentangnya. Pada studi sebelumnya oleh Ocherudy (2016) telah ditentukan arah *runway* kedua tersebut. Walaupun begitu, di tugas akhir ini akan dianalisis kondisi angin dan cakupannya untuk menghasilkan hasil studi dengan metode analisis yang berbeda. Ditentukan pula sistem *runway* yang cocok dengan hasil analisis windrose. Untuk menentukan arah dan letak *runway* kedua, diperlukan data-data berupa *layout* bandara, data angin dan analisis windrose.

4.1.1. Analisis Windrose

4.1.1.1. Umum

Kondisi angin sangat menentukan desain atau perencanaan dari sebuah bandara, Tergantung pada arah angin, kecepatan, dan frekuensi yang berbeda, maka akan berbeda pula hasil rancang akhirnya. Elemen yang paling dipengaruhi oleh kondisi angin tersebut adalah landasan pacu (*runway*), dimana arahnya ditentukan oleh analisis windrose. Dari total kejadian arah angin yang terjadi akan diambil parameter angin dominan, yaitu arah angin yang memiliki prosentase kejadian tertinggi pada daerah tersebut. Kasus dimana tidak ada arah angin dengan kejadian 95% dari total hembusan, maka akan dibutuhkan lebih dari satu *runway*.

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Ocherudy (2016), telah diketahui bahwa analisis angin membuktikan kebutuhan *runway* kedua akibat *crosswind* dari arah selain arah *runway* eksisting, namun dalam Tugas Akhir ini ingin menganalisis kembali data angin dan mengolahnya menggunakan metode yang berbeda. Dari data survey angin FAA yang diakses melalui *website* Airports GIS FAA, stasiun bandar udara Syamsudin Noor mempunyai data prosentase dan kecepatan angin pada delapan arah mata angin untuk tahun 2006 s.d.tahun 2015.

Data tersebut diolah menjadi tabel 4.1, yaitu tabel kejadian dan kecepatan. Data ini akan digunakan sebagai input analisis wind rose yang akan dibahas pada subbab selanjutnya.

Tabel 4.1: Kejadian angin pada kecepatan dan mata angin tertentu per jam di bandara Syamsudin Noor (WAOO) pada tahun 2006 s.d 2015
(FAA, 2016)

Arah	Kejadian Angin pada Kecepatan per Jam (knot)									Total
	0-3	4-6	7-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	>41	
010	291	564	49	3	1	0	0	0	1	909
020	461	941	54	1	0	0	1	0	3	1461
030	666	1159	57	3	0	0	0	0	0	1885
040	673	1025	54	3	0	0	0	0	0	1755
050	630	770	38	2	1	0	0	0	0	1441
060	475	658	33	8	2	0	0	0	0	1176
070	400	507	53	10	0	0	0	0	0	970
080	285	512	114	26	0	0	1	0	0	938
090	370	602	212	87	4	0	0	0	0	1275
100	310	741	334	176	5	0	0	0	0	1566
110	203	502	279	144	4	0	0	0	0	1132
120	263	657	270	159	3	0	0	0	0	1352
130	298	694	161	74	1	1	0	0	0	1229
140	272	763	132	34	0	0	0	0	0	1201
150	356	859	125	36	0	0	0	0	0	1376
160	342	927	185	39	1	0	0	0	0	1494
170	332	962	243	57	1	0	2	0	0	1597
180	346	1067	270	62	2	1	0	0	0	1748
190	233	746	188	44	1	0	0	0	0	1212
200	292	865	279	54	2	1	0	0	0	1493
210	184	635	229	50	0	0	0	0	0	1098
220	201	656	315	74	1	0	0	1	0	1248
230	208	611	312	91	0	0	1	0	0	1223
240	158	609	271	120	4	0	0	0	0	1162
250	180	540	270	122	7	1	0	0	0	1120
260	151	473	199	69	5	0	0	0	0	897

Tabel 4.1 (Lanjutan): Kejadian angin pada kecepatan dan mata angin tertentu per jam di bandara Syamsudin Noor (WAOO) pada tahun 2006 s.d 2015
(FAA, 2016)

Arah	0-3	4-6	7-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	>41	Total
270	150	472	151	45	1	0	0	0	0	819
280	147	464	102	33	1	0	0	0	0	747
290	134	358	83	26	3	0	0	0	0	604
300	167	539	89	23	0	0	0	0	0	818
310	144	339	50	10	0	1	0	0	1	545
320	206	525	58	13	1	0	0	0	0	803
330	209	515	38	10	1	1	0	0	0	774
340	238	487	42	6	0	0	1	0	0	774
350	310	564	36	9	0	0	0	0	1	920
360	228	317	34	4	3	0	0	0	0	586
Calm	20889									20889
Total	31402	23625	5409	1727	55	6	6	1	6	

4.1.2. Analisis Windrose Bandara Syamsudin Noor

Wind rose bandara Syamsudin noor akan dianalisis demi mengetahui orientasi *runway* kedua bandara dalam derajat azimuth. Cara analisis telah dibahas pada bab 2 subbab 2.7. Data angin yang dipakai adalah data survey FAA pada tabel 4.1. Contoh di subbab 2.7 mengasumsikan *crosswind* yang diperbolehkan maksimum sebesar 15 knot. Untuk kasus bandara Syamsudin Noor perlu dilakukan klasifikasi *crosswind* yang dibolehkan tergantung dari *Runway Design Code* (RDC) bandara yang ditentukan dari jenis pesawat terbesar yang dilayani.

Langkah pertama adalah menentukan jenis pesawat terbesar yang akan dilayani *runway* kedua. Berdasarkan data studi Angkasa Pura I (2011) diketahui bahwa *runway* eksisting mempunyai pesawat terbesar Boeing 767. Begitupun, dari studi yang sama memerkirakan pada tahun 2025 kebelakang bandara akan melayani tipe Boeing 747. Tugas Akhir ini mengasumsikan pesawat terbesar adalah Boeing 747, sesuai dengan perkiraan dari studi dengan alasan mengakomodasi penambahan kapasitas yang terjadi di masa mendatang.

Langkah kedua adalah menentukan Kode Acuan Bandara (*Runway Design Code*) berdasarkan *Advisory Circular* FAA. Metode penentuan ini cukup jelas dijelaskan pada tabel 1-1 dan 1-2 AC 150/5300 FAA yang disajikan pada tabel 4.2 dan 4.3. AAC, ADG dan RVR digabung untuk membentuk kode acuan bandara. Contoh komposisi *Runway Design Code* (RDC) pada suatu bandara adalah C-IV-1200. Dalam Tugas Akhir ini, bandara tinjauan adalah bandara Symasudin Noor dimana pesawat terbesar yang dilayani adalah tipe Boeing 747. Diketahui dari Boeing (2011) bahwa *approach* speed pesawat tersebut bervariasi dari 140 s.d 159 knot dengan tail height 19,5 – 20,1 meter dan wingspan 195,8 – 224,4 kaki. Rekapitulasi dan hasil ada di tabel 4.4.

Tabel 4.2: Tabel penentuan AAC
(FAA, 2012)

AAC	$V_{REF}/Approach\ Speed$
A	<i>Approach</i> speed less than 91 knots
B	<i>Approach</i> speed 91 knots or more but less than 121 knots
C	<i>Approach</i> speed 121 knots or more but less than 141 knots
D	<i>Approach</i> speed 141 knots or more but less than 166 knots
E	<i>Approach</i> speed 166 knots or more

Tabel 4.3: Tabel ADG dan RVR
(FAA, 2012)

Group #	Tail Height (ft (m))	Wingspan (ft (m))
I	<20' (< 6m)	<49' (< 15 m)
II	20' - <30' (6m - <9m)	49' - <79' (15m-<24 m)
III	30' - <45' (9m-<13,5m)	79' - <118' (24m-<36m)
IV	45' - <60' (13,5m-<18,5m)	118' - <171' (36m-<52m)
V	60' - <66' (18,5m-<20m)	171' - <214' (52m-<65m)
VI	66' - <80' (20m-<24.5m)	214' - <262' (65m-<80m)

RVR (ft)*	Instrument Flight Visibility Category (statute mile)
5000	Not lower than 1 mile
4000	Lower than 1 mile but not lower than ¾ mile
2400	Lower than ¾ mile but not lower than ½ mile
1600	Lower than ½ mile but not lower than ¼ mile
1200	Lower than ¼ mile

Tabel 4.4: Rekapitulasi Klasifikasi Pesawat Boeing 747

Tipe	Approach speed (knot)	Tail Height (m)	Wingspan (m)	AAC	ADG	RVR
747-100	144	19,6	59,7	D	V	-
747-200	150	19,6	59,7	D	V	-
747-200F	150	19,6	59,7	D	V	-
747-300	142	19,6	59,7	D	V	-
747-400	157	19,5	64,9	D	V	-
747-400F	158	19,5	64,9	D	V	-
747-400ER	157	19,6	64,9	D	V	-
747-SP	140	20,1	59,6	C	V	-
747-8I	150	19,6	68,4	D	VI	-
747-8F	159	19,6	68,4	D	VI	-

Dari tabel diketahui bahwa ARC (*Airport Reference Code*), atau gabungan dari AAC dan ADG bervariasi dari D-V, C-V, dan D-VI. RVR untuk desain arah *runway* tidak ditentukan. Sebagai anggapan konservatif yang dijadikan pedoman keputusan dalam tugas akhir ini, maka dipilihlah RDC D-VI.

Langkah ketiga adalah menentukan *crosswind* yang dibolehkan pada *runway*. Hal ini diatur dalam AC 150/5300 FAA dan dikutip di tugas akhir ini pada tabel 4.5. Setelah ditentukan RDC *runway* kedua adalah D-VI, maka proses selanjutnya adalah mencari komponen *crosswind* yang dibolehkan. Dari tabel 3-1 AC FAA maka didapatkan bahwa komponen *crosswind* yang dibolehkan pada *runway* kedua adalah sebesar 20 knot.

Tabel 4.5: Komponen *Crosswind* untuk berbagai RDC (FAA, 2012)

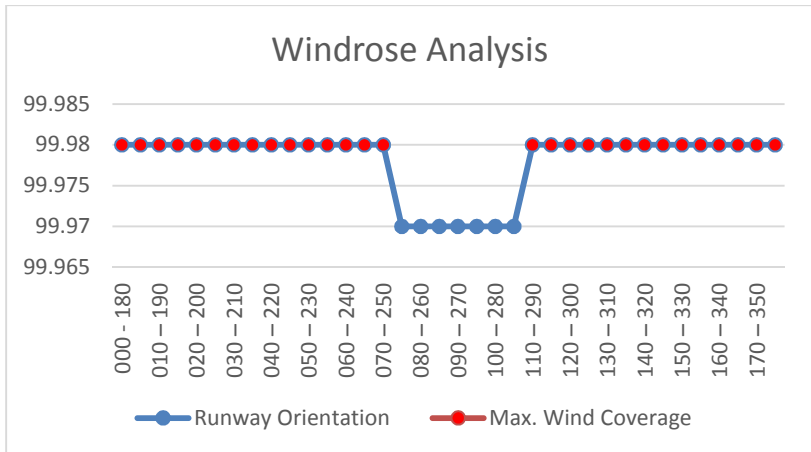
RDC	Allowable <i>Crosswind</i> Component
A-I and B-I*	10.5 knots
A-II and B-II	13 knots
A-III, B-III C-I through D-III D-I through D-III	16 knots
A-IV and B-IV C-IV through C-VI D-IV through D-VI	20 knots
E-I through E-VI	20 knots

*includes A-I and B-I small aircraft

Tabel 4.6: Rekapitulasi Analisis Wind Rose Untuk Arah Angin Dengan Interval 5 Derajat Azimuth

Arah Angin	Cakupan Angin (%)	Arah Angin	Cakupan Angin (%)	Arah Angin	Cakupan Angin (%)
000 – 180	99.98	060 – 240	99.98	120 – 300	99.98
005 – 185	99.98	065 – 245	99.98	125 – 305	99.98
010 – 190	99.98	070 – 250	99.98	130 – 310	99.98
015 – 195	99.98	075 – 255	99.97	135 – 315	99.98
020 – 200	99.98	080 – 260	99.97	140 – 320	99.98
025 – 205	99.98	085 – 265	99.97	145 – 325	99.98
030 – 210	99.98	090 – 270	99.97	150 – 330	99.98
035 – 215	99.98	095 – 275	99.97	155 – 335	99.98
040 – 220	99.98	100 – 280	99.97	160 – 340	99.98
045 – 225	99.98	105 – 285	99.97	165 – 345	99.98
050 – 230	99.98	110 – 290	99.98	170 – 350	99.98
055 – 235	99.98	115 – 295	99.98	175 – 355	99.98

Hasil analisis membuktikan bahwa cakupan angin arah 100 – 280 sebesar 99,97%, sudah melebihi standar wind *coverage* FAA. Hal ini ditambah dengan kecukupan cakupan angin pada arah lainnya membuktikan bahwa *runway* pada bandara Syamsudin Noor tidak membutuhkan *runway* tambahan sebagai penambah cakupan angin. Dapat dilihat pada grafik di gambar 4.1 bahwa cakupan angin maksimum berada di *runway* 0/18 (searah jarum jam) sampai 7/25 dan 11/29 (searah jarum jam) sampai 18/36. Hasil analisis dalam bentuk windrose untuk arah 100 – 280 pun bisa dilihat pada gambar 4.2.

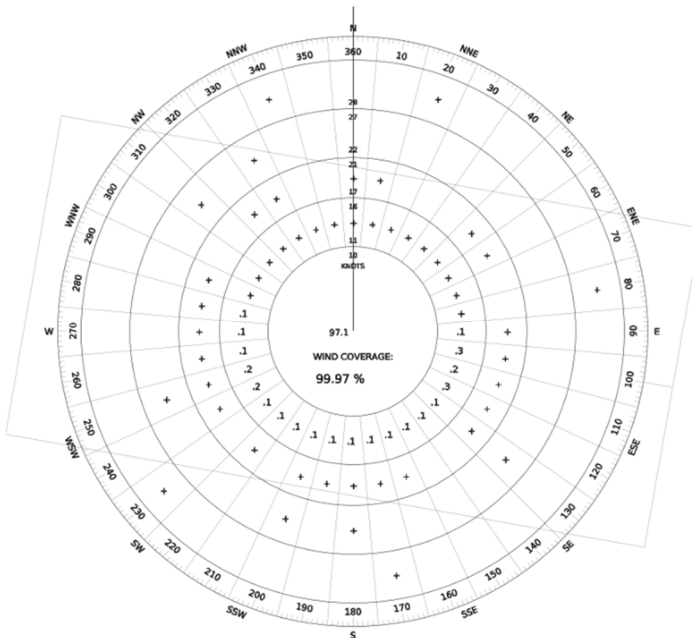


Gambar 4.1: Grafik Analisis Windrose Dua Arah Menggunakan Airports GIS ALL_WEATHER Wind Rose FAA

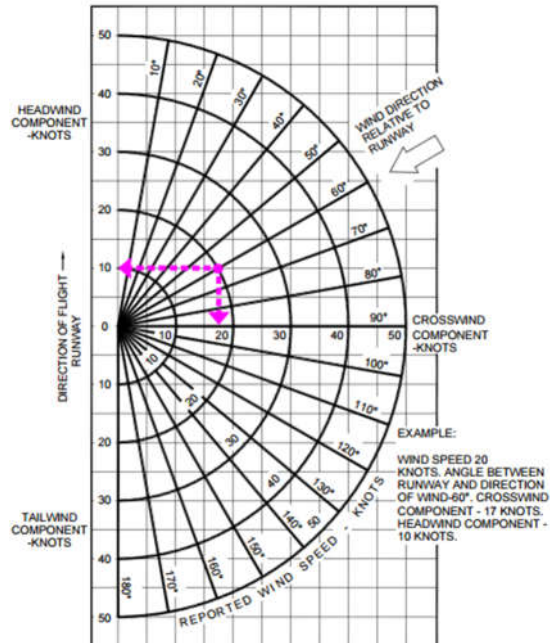
Menimbang bahwa *runway* eksisting 10 – 28 mencakup ketentuan FAA, berdasarkan analisis menggunakan web Airports GIS ALL_WEATHER Wind Rose Form disimpulkan bahwa *runway* eksisting tidak membutuhkan *runway* tambahan sebagai penambah cakupan angin. Hasil ini berbeda dengan penelitian sebelumnya. Adapun dengan hasil ini dapat diketahui arah dengan cakupan maksimum terdekat secara azimuth pada *runway* eksisting adalah pada 120°.

Langkah kelima adalah menganalisis *crosswind* pada arah 100° - 280° dengan menggunakan metode FAA seperti dipaparkan pada dokumen AC 150/5300 Appendix 2. Metode tersebut menggunakan grafik vektor untuk menentukan komponen *crosswind* dan *headwind/tailwind*. Data yang diperlukan pada metode ini adalah sudut arah angin dan *runway*, kecepatan angin yang berhembus serta *crosswind* maksimum masing-masing pesawat. Dari dokumen studi kelayakan bandara Angkasa Pura telah diketahui jenis pesawat yang menggunakan bandara Syamsudin Noor. Setelah itu, pada masing-masing dokumen manual jenis pesawat telah diberikan rekomendasi *crosswind*

maksimum untuk proses lepas landas maupun mendarat. Kecepatan angin dianggap maksimum 16 knot sesuai data angin FAA pada arah 120° azimuth, yang berarti mempunyai sudut dengan *runway* 10/28 sebesar 20° . Arah tersebut dipilih sebab mempunyai cakupan angin maksimum yang terdekat dari eksisting. Pada gambar 4.3 dan 4.4 telah diberikan grafik analisis dan pada tabel 4.7 rekapitulasi perhitungannya.

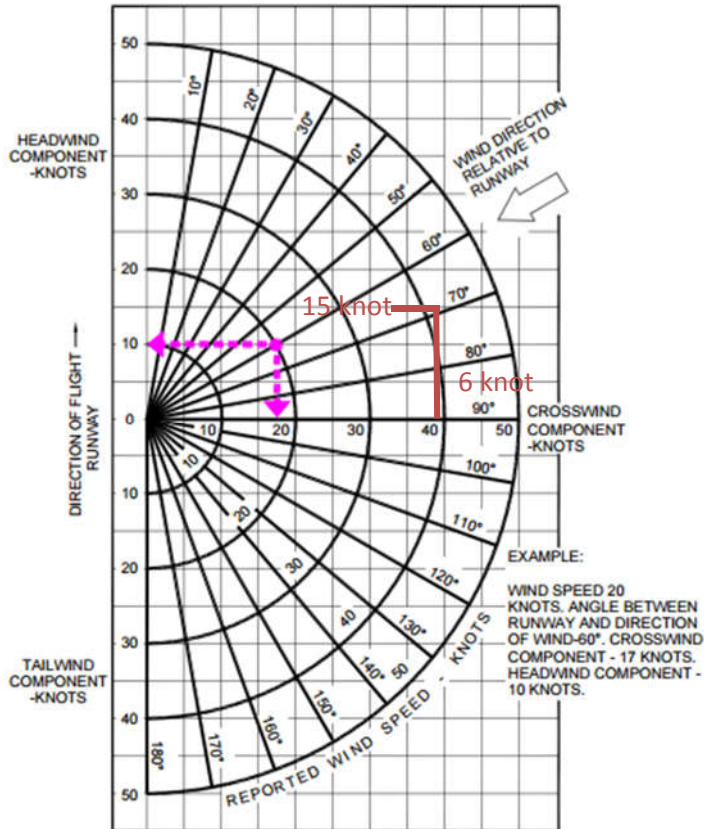


Gambar 4.2: Wind Rose Hasil Analisis Airports GIS
ALL_WEATHER Wind Rose Analysis FAA
(FAA, 2016)



Gambar 4.3: Grafik A2-1 AC 150/5300 FAA Untuk Menentukan Komponen *Crosswind* (FAA, 2012)

Hasil dari perhitungan tersebut menyimpulkan bahwa pada kondisi angin berhembus dari arah 120° azimuth masih dibawah maximum demonstrated *crosswind*, tepatnya sebesar 6 knot tegak lurus dengan arah *runway*. Adapun kesimpulan ini membuktikan bahwa *runway* masih aman. Perlu diketahui pula, angin 16 knot hanyalah asumsi dari 3 kali dimana angin pada 120° mempunyai ranah kecepatan 11 - 16 knot, dan angin sekencang itu terjadi total 1727 kali kejadian dari 62237 kali kejadian angin di bandara tersebut (3,03%). *Crosswind* pada arah 120° azimuth aman untuk penerbangan.



Gambar 4.4: Analisis grafis *crosswind* dari arah 120 derajat azimuth dengan kecepatan 16 knot (garis oranye)

Dari hasil analisis cakupan angin dengan metode windrose dapat disimpulkan bahwa cakupan angin *runway* eksisting sudah memenuhi standar FAA. Hasil tersebut berdasarkan data angin per jam tahun 2006 s.d 2015 dari Airports GIS FAA dengan cakupan angin sebesar 99,97%. Adapun komponen *crosswind* maksimum tmemenuhi rekomendasi *crosswind* maksimum pada setiap pesawat yang singgah di bandara Syamsudin Noor.

Tabel 4.7: Rekapitulasi perhitungan komponen *crosswind* berbagai macam pesawat di bandara Syamsudin Noor

Aircraft	<i>Crosswind</i> Maks. (knot)	Kec. angin (knot)	Arah (azimuth)	Sudut The.	Komp. <i>crosswind</i> (knot)	Kondisi
ATR72-500	35	16	120	20	6	SAFE
B737-600/700/800/900	36	16	120	20	6	SAFE
B737-300/400/500	36	16	120	20	6	SAFE
A320	30	16	120	20	6	SAFE
B767-300	30	16	120	20	6	SAFE
A330-300	40	16	120	20	6	SAFE
A340-500	30	16	120	20	6	SAFE
B747-400	30	16	120	20	6	SAFE

4.2. Peramalan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat dan Tahun Kebutuhan *Runway* Kedua

Perencanaan *layout runway* memerlukan periode kebutuhan *runway* ditinjau dari pergerakan pesawat yang diprediksi akan terjadi di masa mendatang. Hal demikian karena *runway* tambahan direncanakan juga untuk mengakomodasi perkiraan pergerakan pesawat yang melebihi kapasitas *runway* pertama. Agar *runway* kedua dapat dimanfaatkan secara maksimal, perlu diketahui kapan waktu *runway* pertama tidak dapat menampung pergerakan pesawat.

4.2.1. Analisis Pergerakan Pesawat Masa Lampau

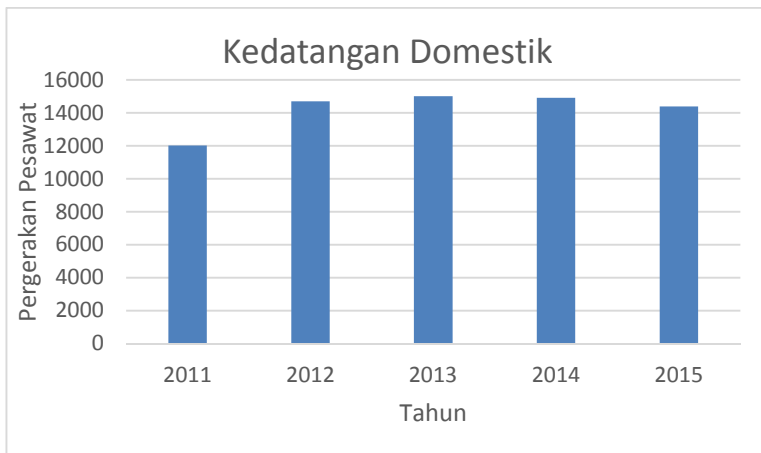
Telah didapatkan data historis pergerakan pesawat pada tahun 2011 – 2015 dari Angkasa Pura dan direkapitulasi pada tabel 4.8 dan 4.9, representasinya pada gambar 4.5 sampai 4.8. Data yang digunakan untuk proses analisis adalah semua data dari 2011 hingga 2015.

Tabel 4.8: Rekapitulasi Pergerakan Pesawat Kedatangan Bandara Syamsudin Noor Tahun 2011 – 2015

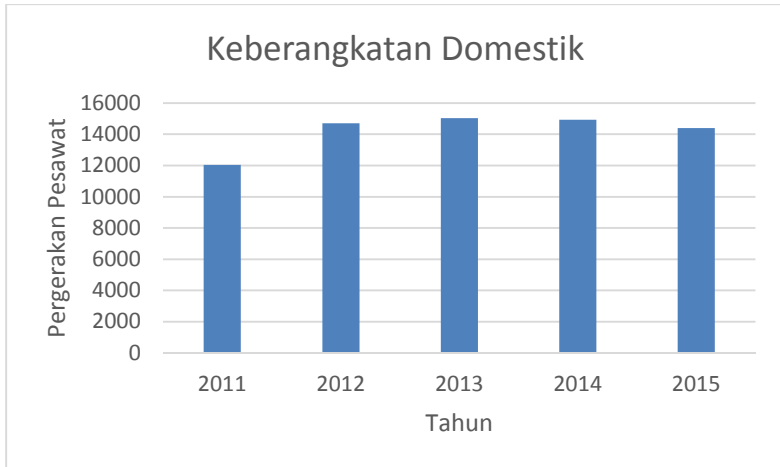
Kedatangan					
Penerbangan	Tahun				
	2011	2012	2013	2014	2015
Domestik	12031	14696	15009	14924	14394
Internasional	32	30	26	46	36

Tabel 4.9: Rekapitulasi Pergerakan Pesawat Keberangkatan Bandara Syamsudin Noor Tahun 2011 – 2015

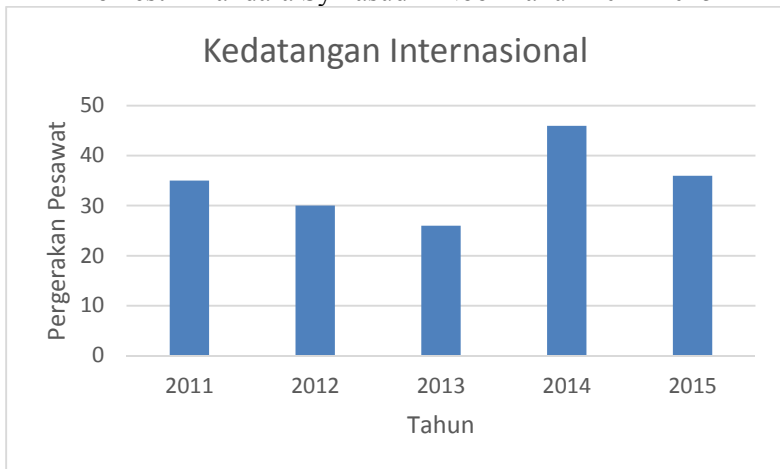
Keberangkatan					
Penerbangan	Tahun				
	2011	2012	2013	2014	2015
Domestik	12042	14715	15027	14932	14401
Internasional	35	29	19	50	44



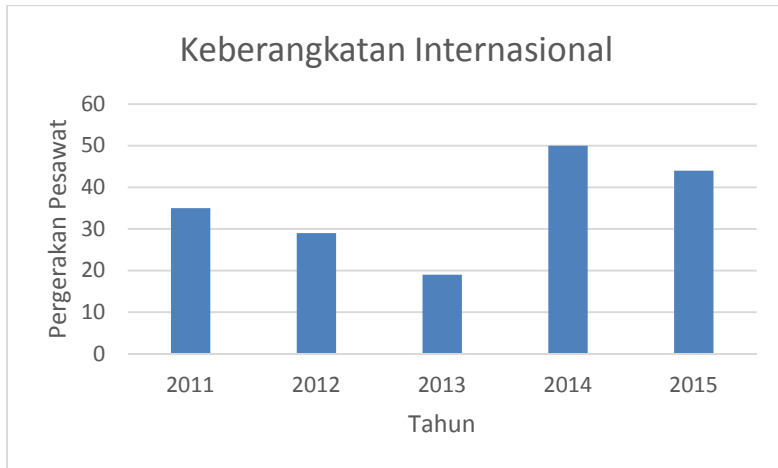
Gambar 4.5: Grafik Pergerakan Pesawat Kedatangan rute Domestik Bandara Syamsudin Noor Tahun 2011 – 2015



Gambar 4.6: Grafik Pergerakan Pesawat Keberangkatan Rute Domestik Bandara Symasudin Noor Tahun 2011-2015

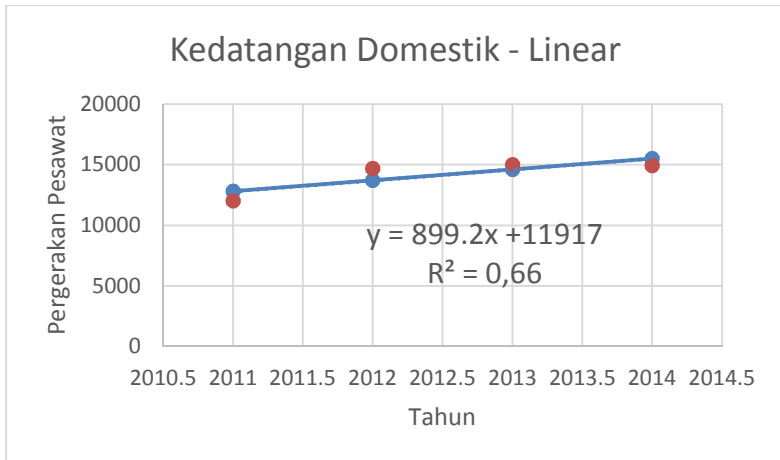


Gambar 4.7: Grafik Pergerakan Pesawat Kedatangan Rute Internasional Bandara Symasudin Noor Tahun 2011-2015

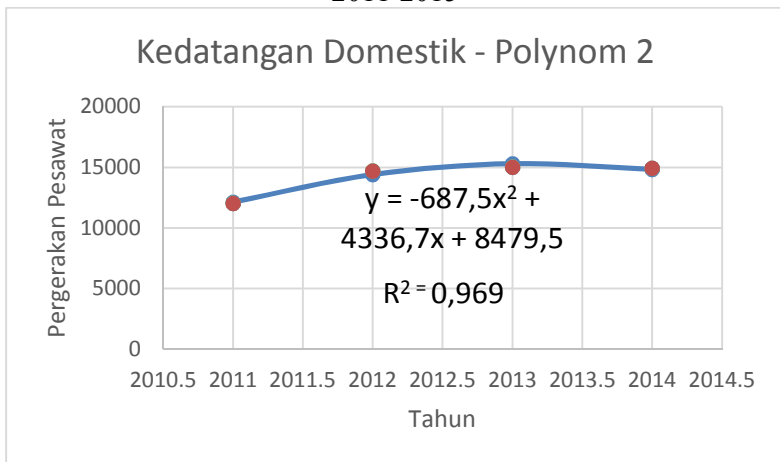


Gambar 4.8: Grafik Pergerakan Pesawat Keberangkatan Rute Internasional Bandara Symasudin Noor Tahun 2011-2015

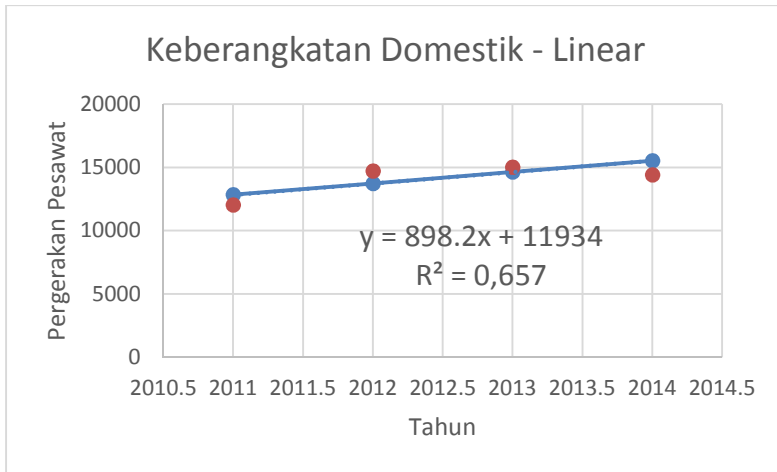
Bagian ini akan membandingkan data sebenarnya dengan hasil keempat regresi itu menggunakan Microsoft Excel. Sebagai acuan akan menggunakan data pergerakan pesawat Domestik dan Internasional tahun 2015 untuk kedatangan maupun keberangkatan. Pada tabel 4.10 sampai 4.13 dihitung hasil dari fungsi tiap-tiap regresi dan dibandingkan dengan data yang didapatkan. Acuan dipakainya suatu regresi adalah selisih dengan data tahun 2015, dimana yang terkecil yang akan diambil. Selain itu dilihat pula nilai R^2 sebagai koefisien determinasi dimana yang paling dekat dengan nilai 1 yang dipilih. Begitupun R^2 tidak menjadi patokan terakhir dalam menentukan kecocokan regresi terhadap nilai riil y , yang dalam hal ini adalah pergerakan pesawat.



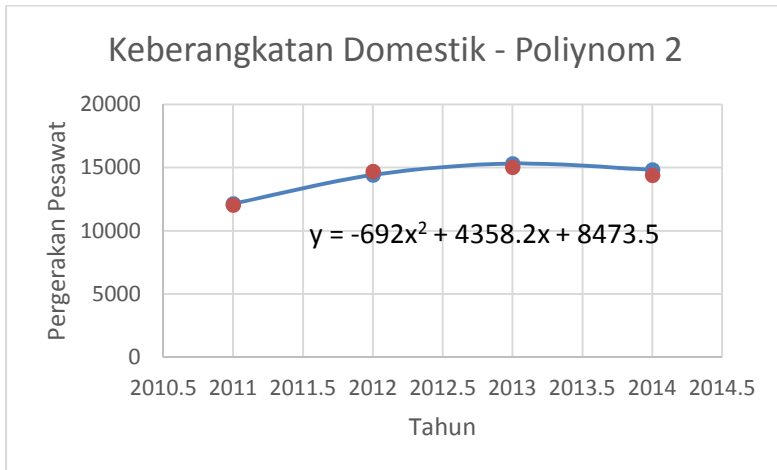
Gambar 4.9: Grafik Regresi Kedatangan Domestik Linear Tahun 2011-2015



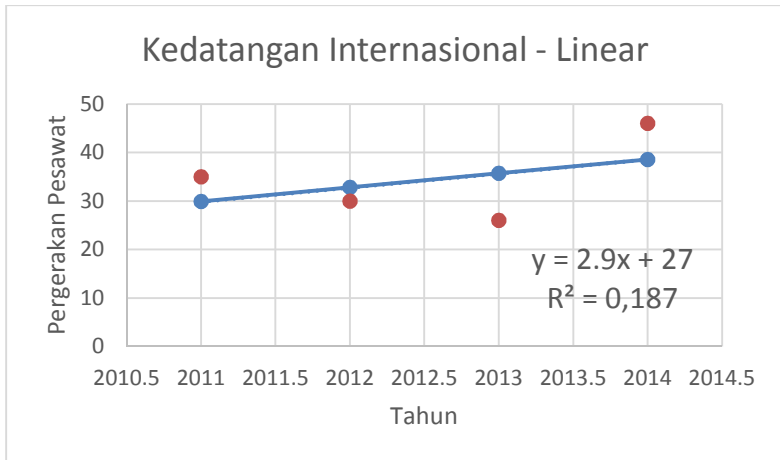
Gambar 4.10: Grafik Regresi Kedatangan Domestik Polinomial Tahun 2011-2015



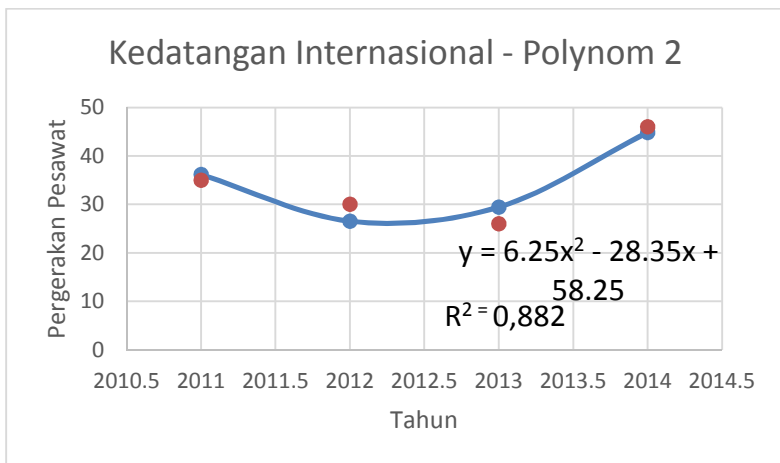
Gambar 4.11: Grafik Regresi Keberangkatan Domestik Linear
Tahun 2011-2015



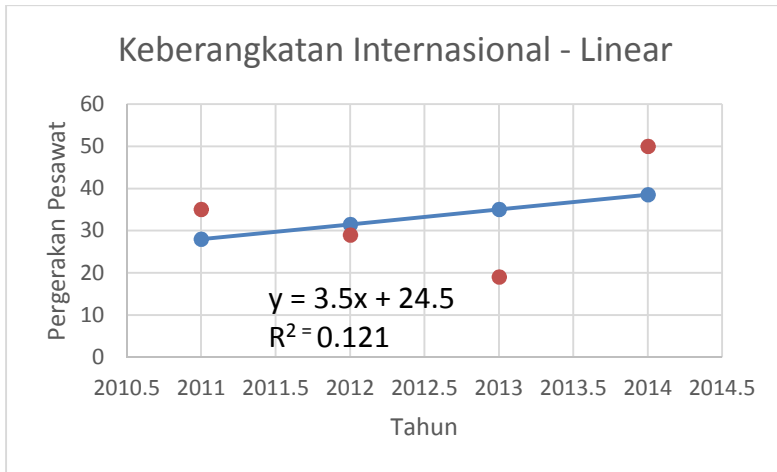
Gambar 4.12: Grafik Regresi Keberangkatan Domestik
Polinomial Tahun 2011-2015



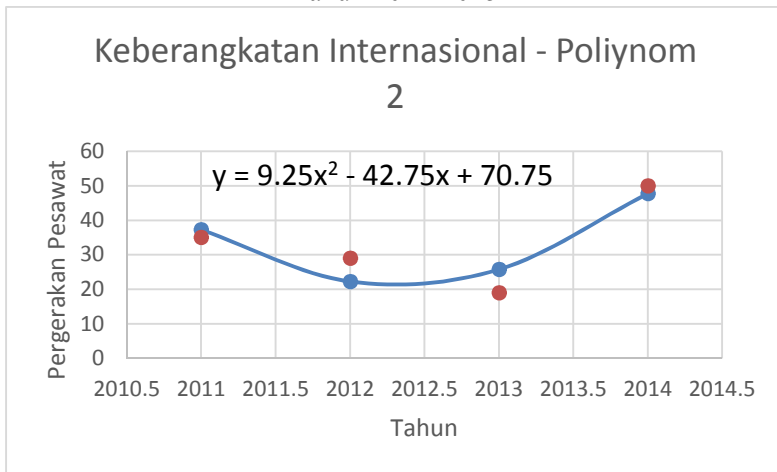
Gambar 4.13: Grafik Regresi Kedatangan Internasional Linear Tahun 2011-2015



Gambar 4.14: Grafik Regresi Kedatangan Internasional Polinomial Tahun 2011-2015



Gambar 4.15: Grafik Regresi Keberangkatan Internasional Linear Tahun 2011-2015



Gambar 4.16: Grafik Regresi Keberangkatan Internasional Polinomial Tahun 2011-2015

Tabel 4.10: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Domestik untuk Kedatangan

Jenis Regresi	Fungsi	R^2	Y (X = 5)	Data Tahun ke-5
Linear	$y = 899,2x + 11917$	0.66	16413	14394
Polynomial (ordo kedua)	$Y = -687,5x^2 + 4336,7x + 8479,5$	0.969	12975,5	14394

Tabel 4.11: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Domestik untuk Keberangkatan

Jenis Regresi	Fungsi	R^2	Y (X = 5)	Data Tahun ke-5
Linear	$y = 898.2x + 11934$	0.657	16425	14401
Polynomial (ordo kedua)	$y = -692x^2 + 4358.2x + 8473.5$	0.969	12964.5	14401

Tabel 4.12: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Internasional untuk Kedatangan

Jenis Regresi	Fungsi	R^2	Y (X = 5)	Data Tahun ke-5
Linear	$y = 2.9x + 27$	0.187	41.5	36
Polynomial (ordo kedua)	$y = 6.25x^2 - 28.35x + 58.25$	0.882	72.75	36

Tabel 4.13: Perbandingan Hasil Regresi Microsoft Excel Pergerakan Pesawat Internasional untuk Keberangkatan

Jenis Regresi	Fungsi	R^2	Y ($X = 5$)	Data Tahun ke-5
Linear	$y = 3.5x + 24.5$		42	44
Polynomial (ordo kedua)	$y = 9.25x^2 - 42.75x + 70.75$	0.799	88.25	44

Pada tabel dijabarkan masing-masing fungsi dari keempat regresi yang kemudian diketahui nilai regresi pada tahun kelima. Setelah dibandingkan, nilai regresi yang paling mendekati data pergerakan pesawat domestik mode kedatangan dan keberangkatan adalah regresi polynomial ordo 2 dengan R^2 bernilai 0.932 dan 0.931. Berbeda dengan pergerakan pesawat domestik, besarnya variansi tidak tergambarkan pada grafik pergerakan pesawat internasional cenderung tinggi. Maka menyebabkan rendahnya nilai R^2 . Hal ini bukan berarti bahwa regresi tersebut tidak dapat digunakan sebab dapat dianalisis regresi tersebut pada beberapa uji kecocokan lainnya.

Menggunakan rumus 2.7 dan 2.8 didapatkan hasil dari parameter statistik *standard error* dan standar deviasi. Selang kepercayaan 95% lalu didapatkan dengan mengalikan *standard error* dengan 2. Contoh perhitungan seperti di paragraph selanjutnya.

Diasumsikan 10 sampel diameter bola sepak dengan masing-masing diameter 22,23,22,22,23,22,23,23,23,22 cm. Untuk mencari standar deviasinya akan dihitung rerata dari semua sampel, yaitu semua diameter dibagi dengan jumlah sampel. Didapatkan 22,5 cm sebagai rerata. Standar deviasi kemudian dihitung menggunakan rumus 2.8.

$$\text{Stdev} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.8)$$

$$\text{Stdev} = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (x_i - 22,5)^2}$$

$$\text{Stdev} = 0,5 \text{ cm} \quad 7$$

Standard error pun didapatkan dengan memasukkan nilai standar deviasi kepada rumus 2.7.

$$\text{Standar Error} = \text{SE} = \frac{\text{Stdev}}{\sqrt{N}} \quad (2.7)$$

$$\text{SE} = \frac{0,5}{\sqrt{10}}$$

$$\text{SE} = 0,158$$

Selang kepercayaan 95% adalah deviasi nilai populasi 95% dari seluruh populasi dari mean. Selang kepercayaan didapatkan dengan menjumlahkan 2 standar error.

$$\text{Selang kepercayaan} = 2 \times \text{SE}$$

$$\text{Selang kepercayaan} = 0,316$$

Dari contoh tersebut kini diketahui bahwa *standard error* untuk 10 sampel bola sepak adalah 0,158 cm dengan selang kepercayaan 95% populasi sebesar 0,316 cm.

Cara yang sama seperti contoh dilakukan pada kasus model regresi pergerakan pesawat. Tabel 4.14 memaparkan hasil parameter statistik tersebut pada setiap model regresi yang didapatkan dari program.

Tabel 4.14 menunjukkan bahwa R^2 yang bernilai besar tidak memastikan variansi yang minimal antara data asli dan garis regresi. Hal ini perlu dipertimbangkan, karena parameter standar error, yaitu rerata standar deviasi sampel tidak semuanya mencerminkan hipotesis. Jika sampel mempunyai rerata standar deviasi besar, dapat disimpulkan bahwa garis regresi belum

menggambarkan error populasi secara umum. Standard error juga menjadi indicator kedekatan data observasi dan garis regresi, yang dapat dianalisis sebagai acuan pertimbangan keputusan. Namun, standard error belum memastikan bahwa populasi hanya akan ada dengan jarak tersebut dari mean. Pada akhirnya dibutuhkan pendekatan kesalahan untuk prediksi yang lebih akurat. Dalam tugas akhir ini akan diuji regresi melalui selang toleransi (tolerance interval).

Diketahui bahwa populasi model regresi berada pada distribusi normal, maka dapat dihitunglah selang toleransi. Seperti dijelaskan pada bab 2.9, selang toleransi adalah selang dimana nilai populasi terletak dari mean sampel. Untuk menghitung selang toleransi digunakan rumus 2.9.

Sebagai contoh adalah kasus pada contoh sebelumnya dimana 10 bola sepak disampel dari berbagai macam bola sepak. Guna mengetahui selang toleransi batas atas dan bawah dari populasi berbagai macam bola sepak maka digunakan rumus 2.9. Konstanta k diketahui dari tabel pada lampiran 1.

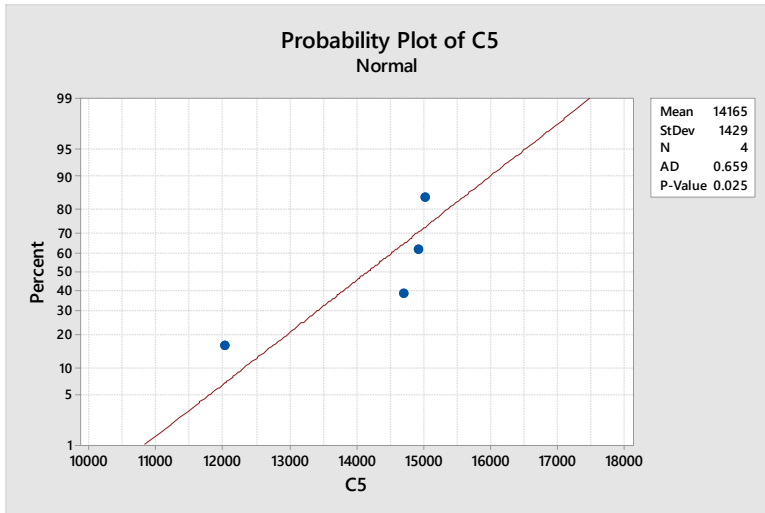
Pada akhirnya diketahui bahwa batas atas diameter pada populasi bola sepak adalah 23,913 cm dan batas bawah 21,087 cm. Cara yang sama digunakan kepada populasi model regresi pergerakan pesawat. Hasilnya ditabelkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.14: Perhitungan *standard error*, batas kesalahan dan perbandingannya dengan R^2

Regresi	Persamaan Garis	Jumlah Sampel	Mean	$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	Stdev	SE	Selang Keyakinan 95%	R^2
Kedatangan Domestik – Linear	$y = 899,2x + 11917$	4	14165	4042803,2	1005,36 1	502,668	1005,336	0.66
Kedatangan Domestik – Polynomial	$Y = -687,5x^2 + 4336,7x + 8479,5$	4	14165	5933428,2	1217,93 1	608,966	1217,931	0.969
Keberangkatan Domestik – Linear	$y = 898,2x + 11934$	4	14179,5	4033816,2	1004,21 8	502,109	1004,218	0.657
Keberangkatan Domestik - Polynomial	$y = -692x^2 + 4358,2x + 8473,5$	4	14179	5949272,2	1219,55 6	609,778	1219,556	0.969
Kedatangan Internasional – Linear	$y = 2,9x + 27$	4	34,25	42,05	3,242	1,621	3,242	0.187
Kedatangan Internasional – Polynomial	$y = 6,25x^2 - 28,35x + 58,25$	4	34,25	198,3	7,040	3,52	7,041	0.882
Keberangkatan Internasional – Linear	$y = 3,5x + 24,5$	4	33,25	61,25	3,913	1,957	3,913	0.121

Tabel 4.14 (Lanjutan): Perhitungan standard error, batas kesalahan dan perbandingannya dengan R^2

Regresi	Persamaan Garis	Jumlah Sampel	Mean	$\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})]^2$	Stdev	SE	Selang Keyakinan 95%	R ²
Keberangkatan Internasional - Polynomial	$y = 9.25x^2 - 42.75x + 70.75$	4	33,25	403,5	10,044	5,022	10,043	0.799



Gambar 4.17: Output Normality test untuk data penerbangan domestik tahun 2011-2014

Tabel 4.15: Output Normality Test Data 2011-2015

Jenis Data	Test Anderson - Darling	Test Ryan - Joiner
Domestik – Kedatangan	Normal	Normal
Internasional – Kedatangan	Normal	Normal
Domestik – Keberangkatan	Normal	Normal
Internasional - Keberangkatan	Normal	Normal

$$L_{UL} = \bar{y} \pm (k \times stdev) \quad (2.9)$$

$$L_{UL} = \bar{y} \pm (k \times stdev) \quad (2.9)$$

$$L_{UL} = 22,5 \pm (k \times 0,316)$$

$$k = 4,473$$

$$L_U = 23,913 \text{ cm}$$

$$L_L = 21,087 \text{ cm}$$

Secara umum, dari tabel 4.16 telah diketahui bahwa semua nilai selang toleransi telah melampaui nilai rerata ditambah/dikurangi *standard error*. Nilai selang toleransi juga melebihi selang keyakinan 95% populasi. Tabel 4.17 telah merangkum semua parameter analisis yang telah dihitung. Menurut pengamatan dari nilai parameter, maka diambil kesimpulan persamaan regresi mana yang akan diambil sebagai model peramalan.

Definisi untuk masing-masing parameter akan dipaparkan kembali dalam paragraph ini. Mean adalah rerata dari nilai sampel yang diambil. Standar Deviasi adalah rerata dari variansi sampel terhadap mean. Standar error adalah rerata dari standar deviasi pada populasi. Selang kepercayaan adalah rentang nilai rerata untuk 95% populasi. Selang toleransi batas atas dan bawah adalah rentang nilai variable respons y untuk semua populasi diatas dan dibawah mean. Terakhir adalah selisih data tahun 2015 terhadap permalan melalui persamaan regresi dengan input $x = 5$.

Keputusan untuk mengaplikasikan model regresi untuk peramalan pergerakan pesawat dibuat berdasarkan pertimbangan terhadap nilai berbagai parameter statistik yang telah disajikan. Hal penting yang diperhatikan adalah bagaimana model regresi dapat memprediksi nilai pada populasi dengan ketepatan yang dapat ditoleransi. Untuk pergerakan pesawat internasional akan dipilih Model Regresi Linear untuk pergerakan keberangkatan. Untuk pergerakan pesawat domestik dipilih Model Regresi Linear untuk pergerakan kedatangan dan keberangkatan. Keputusan ini diambil berdasarkan perbandingan parameter statistik dan nilai sampel serta data riil.

Tabel 4.16: Rekapitulasi Perhitungan Selang Toleransi Regresi

Identitas Pergerakan Pesawat	Persamaan Regresi	\bar{y}	k	Stdev	Selang Toleransi Batas Atas (Upper Limit)	Selang Toleransi Batas Bawah (Lower Limit)
Kedatangan Domestik-Linear	$y = 899,2x + 11917$	14165	10,502	1005,361	24723.301 22	3606.6987 78
Kedatangan Domestik-Polynomial	$Y = -687,5x^2 + 4336,7x + 8479,5$	14165	10,502	1217,931	26955.711 36	1374.2886 38
Keberangkatan Domestik-Linear	$y = 898,2x + 11934$	14165	10,502	1004,218	24711.297 44	3618.7025 64
Keberangkatan Domestik-Polynomial	$y = -692x^2 + 4358,2x + 8473,5$	14179	10,502	1219,556	26986.777 11	1371.2228 88
Kedatangan Internasional-Linear	$y = 2,9x + 27$	34,25	10,502	3,242	68.297484	0.202516
Keberangkatan Internasional-Linear	$y = 3,5x + 24,5$	33,25	10,502	3,913	74.344326	0

Tabel 4.16 (Lanjutan): Rekapitulasi Perhitungan Selang Toleransi Regresi

Identitas Pergerakan Pesawat	Persamaan Regresi	\bar{y}	k	Stdev	Selang Toleransi Batas Atas (Upper Limit)	Selang Toleransi Batas Bawah (Lower Limit)
Kedatangan Internasional-Polynomial	$y = 6.25x^2 - 28.35x + 58.25$	34,25	10,502	7,040	108.18408	0
Keberangkatan Internasional-Polynomial	$y = 9.25x^2 - 42.75x + 70.75$	33,25	10,502	10,044	138.732088	0

Perlu dicek apakah ada korelasi antara PDRB, jumlah penduduk, dan kedatangan pesawat internasional. Dalam tugas akhir ini akan dites menggunakan metode Pearson. Menggunakan metode ini, dapat dibantah hipotesis nol (nihilnya korelasi antar variable) jika nilai p (koefisien pearson) mendekati satu. Analisis korelasi akan dilakukan menggunakan program komputer Minitab versi 17.

Begitupun, dari nilai yang telah dianalisis, hasilnya menunjukkan bahwa hubungan antara kedatangan internasional dan PDRB Kalimantan Selatan cenderung kuat dengan nilai korelasi Pearson 0,703 dan hipotesis nol (nihilnya hubungan antara Kedatangan Internasional dan PDRB) tidak dapat dibantah. Hipotesis nol tidak dapat dibantah sebab nilai p yang melebihi 0,05 yaitu 0,297. Hasil ini menunjukkan tidak signifikannya hubungan antar dua variable, namun bukan berarti tiadanya hubungan sebab-akibat antara keduanya. H_0 , atau hipotesis nol, tidak bisa langsung diterima, dengan hasil ini H_0 tidak dapat dibantah.

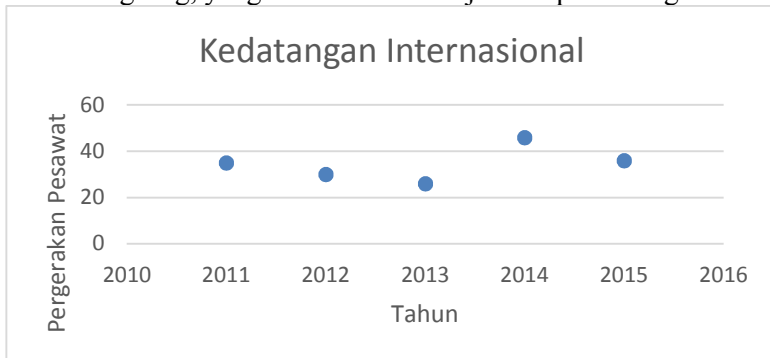
Tabel 4.17: Rekapitulasi Parameter Statistik Regresi Pergerakan Pesawat

Identitas Persamaan	Persamaan Regresi	Mean	Standar Deviasi	R^2	Standar Error	Selang Kepercayaan 95%	Selang Toleransi Batas Atas	Selang Toleransi Batas Bawah	Selisih prediksi dan data ($Y^*_5 - Y_5$)
Kedatangan Domestik-Linear	$y = 899,2x + 11917$	14165	1005,361	0.66	502,668	1005,336	24723.30122	3606.698778	2019
Kedatangan Domestik-Polynomial	$Y = -687,5x^2 + 4336,7x + 8479,5$	14165	1217,931	0.969	608,966	1217,931	26955.71136	1374.288638	1418,5
Keberangkatan Domestik-Linear	$y = 898,2x + 11934$	14165	1004,218	0.657	502,109	1004,218	24711.29744	3618.702564	2024
Keberangkatan Domestik-Polynomial	$y = -692x^2 + 4358.2x + 8473.5$	14179	1219,556	0.969	609,778	1219,556	26986.77711	1371.222888	1436,5
Kedatangan Internasional-Linear	$y = 2.9x + 27$	34,25	3,242	0.187	1,621	3,242	68.297484	0.202516	5,5

Tabel 4.17 (Lanjutan: Rekapitulasi Parameter Statistik Regresi Pergerakan Pesawat

Identitas Persamaan	Persamaan Regresi	Mean	Standar Deviasi	R ²	Standar Error	Selang Kepercayaan 95%	Selang Toleransi Batas Atas	Selang Toleransi Batas Bawah	Selisih prediksi dan data (Y*5-Y5)
Keberangkatan Internasional-Linear	$y = 3.5x + 24.5$	33,25	3,913	0.882	3,52	7,041	74.344326	0	2
Kedatangan Internasional-Polynomial	$y = 6.25x^2 - 28.35x + 58.25$	34,25	7,040	0.121	1,957	3,913	108.18408	0	36,75
Keberangkatan Internasional Polynomial	$y = 9.25x^2 - 42.75x + 70.75$	33,25	10,044	0.799	5,022	10,043	138.732088	0	44,25

Bagaimanapun juga, untuk melakukan analisis untuk meramalkan pergerakan pesawat internasional pada kedatangan dibutuhkan beberapa asumsi mendasar. Salah satu asumsi yang diambil adalah bahwa PDRB akan berpengaruh kepada pergerakan pesawat internasional pada suatu daerah. Mengambil asumsi tersebut tentu harus mempunyai dasar ilmiah atau sebuah logika tertentu. Asumsi logis mengapa asumsi ini diambil adalah bahwa semakin besar pendapatan suatu populasi pada suatu daerah maka semakin mapan pula penduduk daerah tersebut. Kemapanan inilah yang akan menyebabkan naiknya taraf hidup penduduk daerah. Hal itu lalu menambah permintaan penerbangan domestik maupun internasional. Adapun jumlah penduduk dapat memengaruhi penerbangan internasional melalui ibadah haji tiap tahunnya. Bertambahnya jumlah penduduk juga dapat menaikkan PDRB secara langsung, yang akan menambah jumlah penerbangan.



Gambar 4.18: Data Sebaran Pergerakan Pesawat Kedatangan Internasional Tahun 2011-2014

Untuk meramalkan pergerakan pesawat internasional, skenario persamaan linear yang dipakai adalah seperti pada rumus 4.1. Model regresi akan mengambil tipe linear dengan data PDRB tahun 2005-2014 dan data pergerakan pesawat Internasional rute kedatangan tahun 2011-2015. Pertama akan dilakukan regresi pada sebaran data PDRB sehingga didapatkan model regresi linearnya.

Setelah itu dilakukan tes dan dianalisis hubungan linear nya dengan tahun data. Begitu didapatkan, dibuatlah regresi selanjutnya, yaitu model regresi linear untuk rute kedatangan pergerakan pesawat internasional. Model ini akan dianalisis menggunakan parameter statistik yang cara mendapatkannya sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya.

$$y = a + bx_1 \quad (4.1)$$

Dimana:

Y = Pergerakan pesawat internasional rute kedatangan (prediksi)

X₁ = Jumlah produk domestik regional bruto atas dasar harga konstan (prediksi)

Dalam Tabel 4.18 terdapat produk domestik regional bruto dan jumlah penduduk pada tahun 2005 – 2014. Melalui regresi linear, data-data tersebut digunakan untuk meramalkan nilai masing-masing pada tahun mendatang. Persamaan regresi didapatkan dari regression melalui program Minitab 17.. Metode mendapatkan persamaan tersebut telah dijelaskan pada bagian sebelumnya.

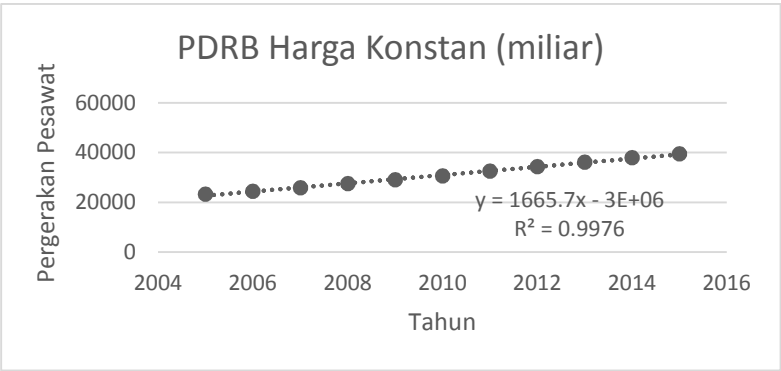
Begitupun pada analisisnya akan diamati regresinya satu persatu sebagai variable bebas dari fungsi peramalan. Pada topik regresi

Persamaan 4.2 adalah regresi linear dari baris data PDRB harga konstan. Nilai dari regresi tersebut diperiksa dengan membandingkan dengan data PDRB asli. Perhitungan tersebut telah dipaparkan hasilnya pada tabel 4.19. Hasil tersebut menunjukkan hubungan berbanding lurus dengan pergerakan pesawat internasional rute kedatangan.

$$y = 1665.7x + 21064 \quad (4.2)$$

Tabel 4.18: Data Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan Provinsi Kalimantan Selatan (Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Selatan, 2015).

Tahun	PDRB Harga Konstan (miliar)	Jumlah Penduduk (jiwa)
	X1	X2
2005	23.292,54	3.250.100
2006	24.452,26	3.345.784
2007	25.922,29	3.396.680
2008	27.593,09	3.446.631
2009	29.051,63	3.496.631
2010	30.674,12	3.642.637
2011	32.552,60	3.714.340
2012	34.413,31	3.784.981
2013	36.196,22	3.854.485
2014	37.951,73	3.922.790
2015	39.545,71	3.981.632



Gambar 4.19: Grafik PDRB ADHK Dan Regresi Polynomial Ordo Kedua

Tabel 4.19: Paramter statistik model regresi linear

Persamaan	\bar{Y}	Stand ar Devia si	R^2	Stand ar Error	Selang Keperc ayaan 95%	Selang Toleran si Batas Atas	Selang Toleransi Batas Bawah
$y = 1665.7x + 21064$	31058 ,681	5531, 276	0.998	1667. 742	3335.4 85	54964. 857	7152.507

Analisis model regresi didasarkan pada nilai R^2 , *standard error* dan selang kepercayaan. Dapat diketahui bahwa dengan nilai R^2 besar belum menjamin minimalnya *error* prediksi, namun R^2 cukup determinan dalam melihat variansi yang terdapat pada garis. Untuk *standard error* 1667,742, kurang dari 1/15 dari mean dan selang kepercayaan 95% populasi sebesar 3335,485, sekitar 1/10 dari Man. Dapat disimpulkan bahwa variansi yang dapat terjadi di populasi sedikit. Bila memerhitungkan selang toleransi atas dan bawah pun, *error* tidak melampaui 100% mean, maka model regresi linear dapat diterima sebagai fungsi untuk peramalan.

Didapatkan persamaan baru 4.2 dari regresi linear X_1 . Nilai regresi dari model tersebut dibandingkan dengan nilai data riil pergerakan pesawat internasional rute kedatangan. Dibuatlah model regresi lainnya menggunakan program Minitab 17. Hasilnya adalah persamaan pergerakan pesawat internasional berdasarkan relasi dengan PDRB provinsi Kalimantan selatan. Model regresi yang tepat lalu akan dipilih dari beberapa jenis regresi yang telah didapatkan. Proses pemilihan regresi ini akan mengamati hasil perhitungan parameter statistik pada tabel 4.20.

Membandingkan kedua persamaan linear yang didapat dengan parameter statistik masing-masing akan didapatkan kesimpulan model regresi yang diambil. Sekilas bila mengamati nilai R^2 akan didapatkan kesimpulan bahwa persamaan nomor 2 lebih baik memodelkan pergerakan pesawat, namun ketika dibandingkan dengan nilai selisih antara nilai peramalan tahun 2015 dengan data observasi hal tersebut menunjukkan kesimpulan sebaliknya. Besarnya angka selisih peramalan dan data cukup menentukan, pada kasus ini nilainya cukup besar, melebihi 6 kali mean. Dipilih model regresi pertama dengan alasan R^2 yang cukup,

selang toleransi dan kepercayaan yang dapat diterima dan selisih peramalan dan data observasi yang tidak terlalu besar (tidak sampai 100% mean).

4.2.2. Peramalan Pergerakan Pesawat di Masa Depan

Ada beberapa metode peramalan pergerakan pesawat untuk perencanaan *runway*. Salah satu metode tersebut adalah metode time series, dimana menggunakan regresi data historis untuk meramalkan variable terikat di masa mendatang. Metode ini digunakan sebagai dasar peramalan pergerakan pesawat di bandara Syamsudin Noor. Subbab sebelumnya telah membahas tipe regresi yang akan digunakan untuk peramalan, maka pada subbab ini akan dipaparkan analisis peramalan.

Tabel 4.21 menguraikan fungsi regresi untuk semua rute dan operasi pergerakan pesawat di masa depan. Fungsi-fungsi regresi itulah yang akan digunakan sebagai fungsi peramalan pergerakan pesawat. Regresi bersama dengan analisis pergerakan jam puncak akan dilakukan setelah diketahui kapasitas eksisting *runway*, agar diketahui kapan pergerakan pesawat melebihi kapasitas *runway* bandara dan dibutuhkan *runway* kedua.

Tabel 4.20: Parameter statistik model regresi PDRB vs. Penerbangan Internasional Rute Kedatangan

No	Model Regresi	Persamaan	Mean	Standar Deviasi	R ²	Standar Error	Selang Kepercayaan 95%	Selang Toleransi Batas Atas	Selang Toleransi Batas Bawah	$\hat{y}_5 - y_5$
1	Linear (X1 = pdrb, X2 = tahun, X3 tidak digunakan)	$y = 375X_2 - 0.207X_1 - 747351.6$	33.26	7.38	0.75	3.69	7.38	127.77	0	51.44
2	Linear (X1 = pdrb, X2 = tahun, X3 = jumlah penduduk)	$y = 1306X_2 + 0.4199X_1 - 0.02961X_3 - 2530018$	35.43	9.04	1,11	4.52	9.04	145.84	0	245.12

Dimana:

X1 = PDRB Provinsi Kalimantan Selatan (miliar)

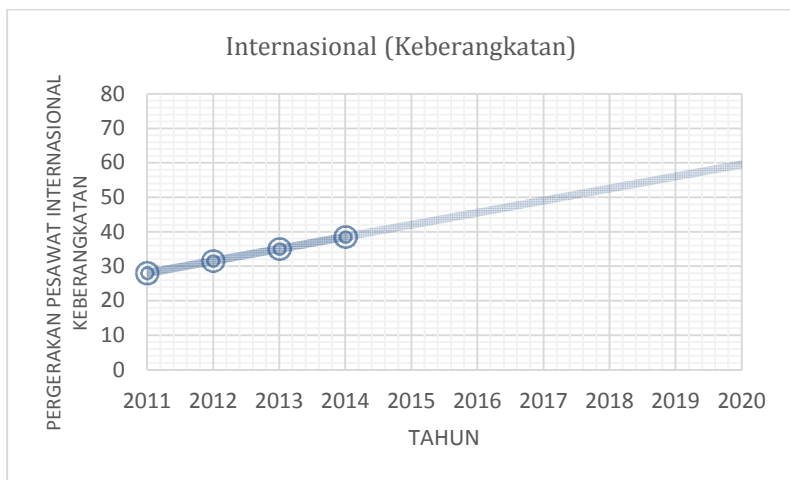
X2 = Tahun Peramalan

X3 = Jumlah Penduduk (jiwa)

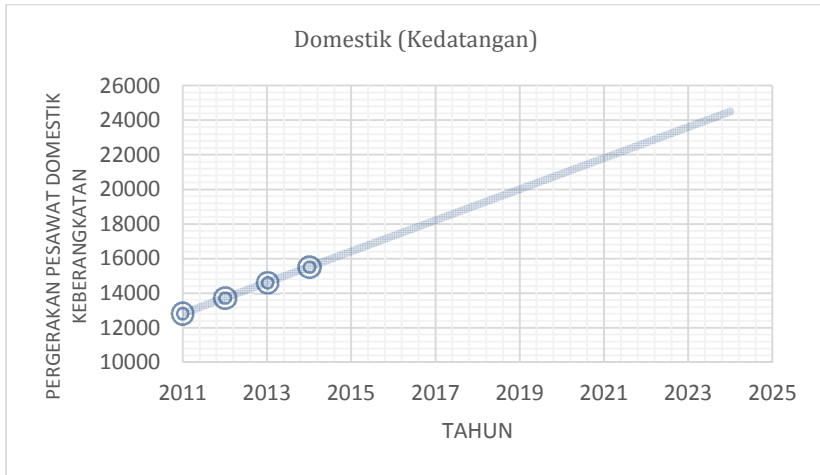
Y = Pergerakan pesawat Internasional tahun ke-x

Tabel 4.21: Fungsi Regresi Untuk Peramalan Pergerakan Pesawat

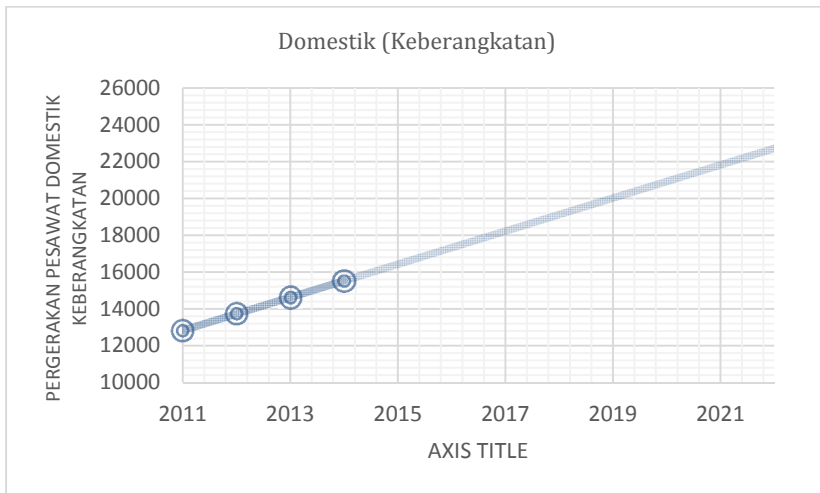
Data Pergerakan Pesawat	Model Peramalan
Internasional (Kedatangan)	$y = 375X_2 - 0.207X_1 - 747351.6$
Internasional (Keberangkatan)	$y = 3.5x + 24.5$
Domestik (Kedatangan)	$y = 899,2x + 11917$
Domestik (Keberangkatan)	$y = 898.2x + 11934$



Gambar 4.20: Grafik Peramalan Pergerakan Internasional Keberangkatan



Gambar 4.21: Grafik Peramalan Pergerakan Domestik Kedatangan



Gambar 4.22: Grafik Peramalan Pergerakan Domestik Keberangkatan

4.2.3. Analisis Kapasitas *Runway* Eksisting

Perhitungan kapasitas *runway* eksisting dilakukan pada bulan tersibuk, saat dimana jumlah penerbangan melebihi bulan-bulan lainnya dalam periode pengamatan. Dari data pergerakan pesawat diketahui bahwa bulan puncak terjadi pada bulan November 2013, dengan total penerbangan Internasional dan Domestik sebanyak 2871 penerbangan. Hari tersibuk pada bulan tersebut adalah pada tanggal 2 November 2013 dengan 99 penerbangan terjadi. Tabel 4.22 merinci pergerakan pesawat di bandara pada 2 November 2013.

Tabel 4.22: Rekap Pergerakan Pesawat Tanggal 2 November 2013 di Bandara Syamsudin Noor

Jam	Kedatangan	Keberangkatan	Total
00:00 – 00:59			
01:00 – 01:59			
02:00 – 02:59			
03:00 – 03:59			
04:00 – 04:59			
05:00 – 05:59			
06:00 – 06:59		4	4
07:00 – 07:59		2	2
08:00 – 08:59	9		9
09:00 – 09:59	2	5	7
10:00 – 10:59	3	3	6
11:00 – 11:59	4	2	6
12:00 – 12:59	7	8	15
13:00 – 13:59	5	5	10
14:00 – 14:59	4	3	7
15:00 – 15:59	3	4	7
16:00 – 16:59	2	3	5
17:00 – 17:59	2	1	3
18:00 – 18:59	3	4	7
19:00 – 19:59	3	3	6

Tabel 4.22 (Lanjutan): Rekap Pergerakan Pesawat Tanggal 2 November 2013 di Bandara Syamsudin Noor

Jam	Kedatangan	Keberangkatan	Total
20:00 – 20:59	1	1	2
21:00 – 21:59	1	2	3
22:00 – 22:59	4		4
23:00 – 23:59			

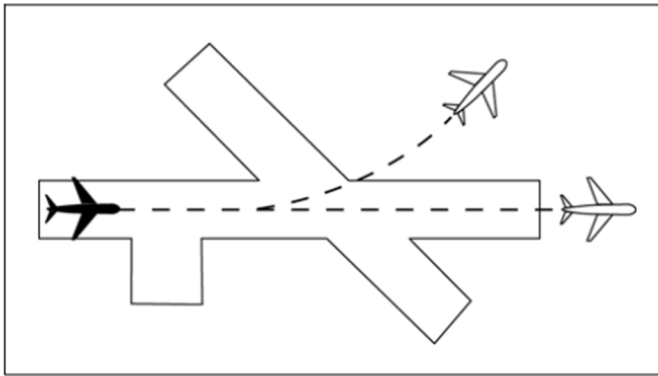
Dari tabel 4.22 didapatkan jam puncak terjadi pada pukul 12:00 – 12:59 dengan 15 pergerakan. Pesawat lalu dikategorikan berdasarkan berat dan spesifikasi mesin seperti dirinci pada dokumen *Aircraft Type Designators* FAA. Adapun untuk perhitungan matriks waktu pemisahan $[T_{ij}]$ dibutuhkan pengelompokan pesawat menurut kecepatan pendekatan (*approach*), teknis hal ini sama seperti subbab sebelumnya dengan tambahan pengelompokan kecepatan *approach* menjadi seragam untuk satu kelompok pada proses perhitungan. Spesifikasi itu ditampilkan pada dokumen asli seperti pada gambar 4.23. Berdasarkan standar tersebutlah dikelompokkan pesawat yang menggunakan *runway* pada tanggal 2 November 2013. Hasil pengelompokan dapat dilihat pada tabel 4.22 dan 4.23.

CATEGORY I – *small single-engine propeller driven aircraft weighing 12,500 lbs. or less, and all helicopters.*

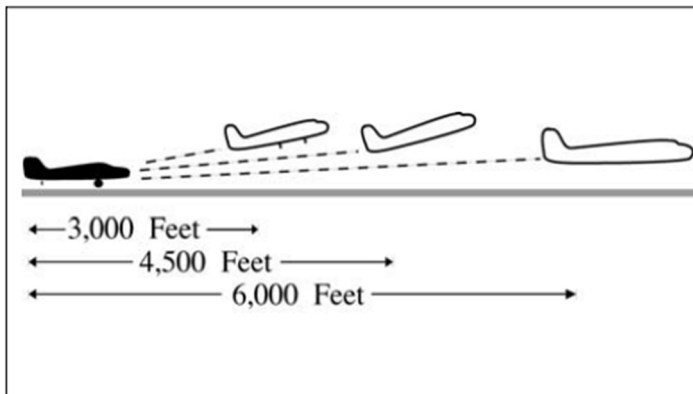
CATEGORY II – *small twin-engine propeller driven aircraft weighing 12,500 lbs. or less.*

CATEGORY III – *all other aircraft.*

Gambar 4.23: Pengelompokan pesawat untuk pemisahan satu *runway* (FAA, 2015)



Gambar 4.24: Visualisasi penggunaan pesawat di *runway* sama (FAA, 2015)



Gambar 4.25: Visualisasi Pemisahan Antar Pesawat di *Runway* Sama (FAA, 2015)

Tabel 4.23: Jadwal Penerbangan Kedatangan Pesawat Tanggal 2 November 2013 pukul 12:00 – 12:59 (Flightstats.com)

No	Tipe Pesawat	Kecepatan Mendarat (Knot)	Berat (lbs)	Kategori Approach	Tipe Mesin	Kategori	No. Penerbangan	Dari	Pukul
1	ATR42-5	104	41005	B	Twin Turbo prop	III	JAT	Kotabaru	12:12
2	B739	141	187700	D	Twinjet	III	LNI-312	Surabaya	12:36
3	C208	80	8500	A	Single - Propeller	I	SSA	Muara Teweh	12:25
4	ATR72	114	50765	B	Twin Turbo prop	III	TGN-125	Pangkalan Bun	12:23
5	C172	90	2550	B	Single - Propeller	I	WON	Palangkaraya	12:19
6	C130	145	155000	D	4 Turbo prop	III	XAU	Pangkalan Bun	12:05

Tabel 4.24: Jadwal Penerbangan Keberangkatan Pesawat Tanggal 2 November 2013 pukul 12:00 – 12:59 (Flightstats.com)

No	Tipe Pesawat	Kecepatan Mendarat	Berat (lbs)	Kategori Approach	Tipe Mesin	Kategori	No. Penerbangan	Dari	Pukul
1	C212	90	16975	B	Twin Turbo prop	III	AFS	Muara Teweh	12:45
2	ATR42	106	36817	B	Twin Turbo prop	III	KLS-931	Kotabaru	12:25
3	B739	141	187700	D	Twinjet	III	LNI-227	Surabaya	12:31
4	C212	90	16975	B	Twin Turbo prop	III	NBA	Lillehammer, Norwegia	12:42

Tabel 4.24 (Lanjutan): Jadwal Penerbangan Keberangkatan Pesawat Tanggal 2 November 2013 pukul 12:00 – 12:59 (Flightstats.com)

No	Tipe Pesawat	Kecepatan Mendarat	Berat (lbs)	Kategori <i>Approach</i>	Tipe Mesin	Kategori	No. Penerbangan	Dari	Pukul
5	C208	80	8500	A	Single Propeller	I	SSA	Muara Teweh	12:15
6	C208	80	8500	A	Single Propeller	I	SSA	Muara Teweh	12:44
7	C208	80	8500	A	Single Propeller	I	SSA	Muara Teweh	12:11
8	C130	145	15500	D	4 Turbo prop	III	XAU	Makassar	12:58
9	C130	145	15500	D	4 Turbo prop	III	XAU	Pangkajene	12:46

Perhitungan kapasitas *runway* akan dilanjutkan dengan perhitungan kapasitas saat *runway* hanya melayani kedatangan pesawat. Perhitungan dilakukan dengan mengasumsikan pesawat pada suatu kelompok *approach* menggunakan kecepatan seragam. Asumsi seperti pada tabel 4.25. Untuk menjadi perhatian bahwa walaupun nilai kecepatan adalah asumsi guna mempermudah perhitungan matriks, penggolongan kecepatan adalah sesuai dengan peraturan FAA dalam penentuan AAC.

Tabel 4.25: Kecepatan Pesawat Kelompok *Approach*

Kelompok <i>Approach</i>	Kecepatan (mil/jam)
A	90
B	120
C	140
D	165

4.2.3.1. Kedatangan Saja

Pada langkah ini akan dihitung kapasitas *runway* dengan asumsi bahwa *runway* hanya melayani pesawat yang datang.

Keadaan Bebas Kesalahan [M_{ij}]

Diketahui dari rekomendasi FAA bahwa pemisahan minimum yang dibutuhkan antara dua pesawat secara lateral adalah tergantung dari pengelompokkan berat dan mesinnya. Bila kedua pesawat berada pada kategori I maka pemisahan minimum adalah 3 mil, namun bila salah satu atau keduanya berada pada kategori III maka pemisahan minimum adalah 6 mil.

Keadaan merapat: dimana kecepatan pesawat di depan (V_i), lebih lambat daripada pesawat dibelakangnya (V_j). Perhitungan untuk keadaan merapat memakai persamaan 2.17.

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j}$$

Kedatangan

Ketika A diikuti D ($V_i = 90$ knot dan $V_j = 165$ knot):

$$T_j - T_i = \frac{6}{165} (3600) = 130,91 \text{ detik}$$

Keadaan merenggang: dimana kecepatan pesawat didepan (V_i) lebih besar daripada kecepatan pesawat di belakangnya (V_j). Perhitungan untuk keadaan ini menggunakan rumus 2.18. γ adalah panjang jarak *approach* umum sebesar 7 meter.

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} + \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right)$$

Kedatangan

Ketika D diikuti B ($V_i = 165$ knot dan $V_j = 140$ knot):

$$T_j - T_i = \left[\frac{6}{16.5} + 7 \left(\frac{1}{14.0} - \frac{1}{16.5} \right) \right] (3600) = 176.23$$

detik

Ketika B diikuti A ($V_i = 120$ knot dan $V_j = 90$ knot):

$$T_j - T_i = \frac{6}{120} + 7 \left(\frac{1}{90} - \frac{1}{120} \right) (3600) = 256,15 \text{ detik}$$

Keadaan sama besar: dimana kecepatan pesawat didepan (V_i) dan kecepatan pesawat di belakangnya (V_j) bernilai sama. Perhitungan untuk keadaan ini menggunakan rumus 2.17. γ adalah panjang jarak *approach* umum sebesar 7 meter.

Ketika B diikuti B ($V_i = 120$ knot dan $V_j = 120$ knot):

$$T_j - T_i = \frac{6}{120} (3600) = 270 \text{ detik}$$

Ketika B diikuti B ($V_i = 120$ knot dan $V_j = 120$ knot):

$$T_j - T_i = \frac{6}{120} (3600) = 270 \text{ detik}$$

Kemudian ditabulasi hasilnya dalam tabel 4.26. Sama halnya dengan probabilitas pesawat dalam posisi memimpin (*leading*) dan menyusul (*trailing*), ditabulasi dalam bentuk matriks $[p_{ij}]$ menurut kejadian urutan di jadwal penerbangan.

Tabel 4.26: Matriks probabilitas $[p_{ij}]$:

		Lead			
		A	B	C	D
Trail	A		20%		
	B		40%		20%
	C				
	D	20%			

Tabel 4.27: Matriks waktu pemisahan minimum [Tij]

		Lead			
		A	B	C	D
Trail	A		256,15 dt		
	B		270 dt		176.23 dt
	C				
	D	130,91 dt			

Diasumsikan bahwa waktu pemakaian *runway* atau ROT (*Runway Occupancy Time*) lebih kecil daripada pemisahan dari hasil permodelan ($T_j - T_i$). Hal tersebut menyebabkan kapasitas *runway* ditentukan oleh hasil permodelan. Dalam keadaan bebas kesalahan, [Tij] dan [Mij] bernilai sama, dan keduanya dikalikan untuk mendapatkan waktu antarkedatangan (ΔT). Waktu antarkedatangan tersebut dibandingkan dengan nilai *Runway Occupancy Time* pesawat yang menggunakan *runway*. Apabila ROT lebih besar daripada prakiraan (ΔT), maka untuk perhitungan kapasitas *runway* akan digunakan waktu ROT. Sebaliknya apabila ΔT lebih besar daripada ROT, maka digunakan ΔT . Pada Tugas Akhir ini akan digunakan rerata dari ROT pesawat yang menggunakan *runway* pada 2 November 2013 pukul 12:00 – 12:59. Tugas Akhir ini mengambil hasil perhitungan ROT dari riset yang telah dilakukan oleh Simanjuntak tahun 2016 untuk masing-masing pesawat. Data selengkapnya dapat dilihat di lampiran 2.

$$\Delta T = \sum (T_{ij} \times p_{ij}) = (0,2 \times 130,91) + (0,2 \times 256,15) + (0,4 \times 270) + (0,2 \times 176,23)$$

$$\Delta T = 220,66 \text{ detik}$$

$$\overline{ROT} = 57,93 \text{ detik}$$

$$\Delta T > ROT$$

Maka kapasitas *runway* pada keadaan kedatangan saja tanpa kesalahan per jam adalah:

$$C = \frac{36\ 00}{\Delta T} = \frac{36\ 00}{220,6\ 6} = 16.32 \text{ kedatangan/jam}$$

Keadaan Kesalahan Posisi

Asumsi terdapat kesalahan posisi (σ_0) pada jadwal penerbangan sebesar 20 detik dengan distribusi normal. Probabilitas pelanggaran aturan pisah minimum untuk jarak kedatangan sebesar 10 persen. Maka kapasitas *runway* untuk keadaan kesalahan posisi dapat dihitung.

Keadaan Merapat: Sama seperti keadaan sebelumnya, rapat adalah dimana kecepatan pesawat didepan lebih kecil daripada pesawat dibelakangnya. Digunakan rumus 2.20 untuk keadaan ini.

Ketika A diikuti D ($V_i = 90$ knot dan $V_j = 65$ knot):

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \sigma_0 q_v \\ B_{ij} &= 20 \times (1,28) \\ B_{ij} &= 25,6 \end{aligned}$$

Keadaan Merenggang: Keadaan merenggang adalah dimana kecepatan pesawat didepan lebih besar daripada pesawat dibelakangnya. Digunakan rumus 2.23 untuk keadaan ini.

Ketika D diikuti B ($V_i = 165$ knot dan $V_j = 140$ knot):

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \sigma_0 q_v - \delta_{ij} \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \\ B_{ij} &= 20 \times (1,28) - (3600) \times 6 \left(\frac{1}{140} - \frac{1}{165} \right) \\ B_{ij} &= 2,22 \end{aligned}$$

Ketika B diikuti A ($V_i = 120$ knot dan $V_j = 90$ knot):

$$B_{ij} = 20 \times (1,28) - (3600) \times 6 \left(\frac{1}{90} - \frac{1}{120} \right)$$

$$B_{ij} = -34,4$$

Karena Buffer minimal dari kesalahan posisi adalah 0, maka $B_{ij} = 0$

Keadaan sama besar: dimana kecepatan pesawat didepan (V_i) dan kecepatan pesawat di belakangnya (V_j) bernilai sama. Perhitungan untuk keadaan ini menggunakan rumus 2.20.

Ketika B diikuti B ($V_i = 120$ knot dan $V_j = 120$ knot):

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v$$

$$B_{ij} = 20 \times (1,28)$$

$$B_{ij} = 25,6$$

Kemudian hasilnya ditabulasi ke tabel 4.28, yaitu matriks [B_{ij}]. Matriks itu akan dijumlah dengan matriks [T_{ij}] yang telah dihitung di keadaan bebas kesalahan, lalu dikalikan dengan matriks [p_{ij}] untuk menghasilkan ΔT yang memasukkan faktor probabilitas kesalahan posisi. Setelah itu nilainya akan dibandingkan dengan ROT yang telah diketahui untuk menghitung kapasitas.

Tabel 4.28: Matriks Buffer waktu pemisahan [B_{ij}]

		Lead			
		A	B	C	D
Trail	A		0 dt		
	B		25,6 dt		2,22 dt
	C				
	D	25,6 dt			

$$\Delta T = \sum [p_{ij}] \times (T_{ij} + B_{ij})$$

$$= (0,2 \times 61,476) + (0,2 \times 31,418) + (0,4 \times 151,2) + (0,2 \times 42,295)$$

$$\Delta T = 286,39 \text{ dt}$$

$$\overline{ROT} = 57,93 \text{ detik}$$

$$\Delta T > ROT$$

Maka kapasitas *runway* pada keadaan kedatangan saja dengan perhitungan kesalahan posisi adalah:

$$C = \frac{36 \ 00}{\Delta T} = \frac{36 \ 00}{28 \ 539} = 12,57 \text{ kedatangan/jam}$$

4.2.3.2. Keberangkatan Saja

Pada langkah ini akan dihitung kapasitas *runway* dengan asumsi bahwa *runway* hanya melayani pesawat yang datang. Metode dalam bagian ini tidak berbeda dengan bagian kedatangan. Tujuan perhitungan adalah mencari kapasitas *runway* eksisiting C. Caranya dengan mencari matriks waktu antar keberangkatan [tij] dan probabilitas pesawat i diikuti pesawat j [pij] yang dikalikan untuk mendapat waktu pemisahan rata-rata ΔT . Perbedaan mencolok dari bagian sebelumnya adalah bahwa pada saat keberangkatan pemisahan sudah diatur oleh menara control (ATC), begitupun akan diasumsikan bahwa waktu antarkeberangkatan belum diketahui dan [tij] didapatkan dari selisih waktu keberangkatan pesawat i dan j.

Matriks waktu antarkeberangkatan [tij] dan matriks probabilitas susunan pesawat [pij] diketahui dari jadwal penerbangan, lalu dipresentasikan dalam tabel 4.29 dan 4.30.

Tabel 4.29: Matriks waktu antarkeberangkatan $[t_{ij}]$

		Lead			
Trail		A	B	C	D
	A	240 dt	120 dt		
	B	330 dt			660 dt
	C				
	D		260 dt		720 dt

Tabel 4.30: Matriks probabilitas

		Lead			
Trail		A	B	C	D
	A	0,125	0,125		
	B	0,25			0,125
	C				
	D		0,25		0,125

Waktu antar keberangkatan ΔT dapat dihitung dengan mengalikan kedua matriks diatas. Seperti pada bagian sebelumnya, waktu perkiraan akan dibandingkan dengan ROT, lalu kapasitas *runway* eksisting untuk keadaan keberangkatan saja pun dapat diketahui.

$$Et_d = \sum(t_{ij} \times p_{ij}) = (0,125 \times 240) + (0,25 \times 330) + (0,125 \times 120) + (0,25 \times 250) + (0,125 \times 660) + (0,125 \times 720)$$

$$Et_d = 362,5 \text{ dt}$$

Maka kapasitas *runway* pada keadaan keberangkatan saja tanpa kesalahan adalah:

$$C = \frac{36 \text{ } 00}{\Delta T} = \frac{36 \text{ } 00}{36 \text{ } 25} = 9,93 \text{ kedatangan/jam}$$

4.2.3.3. Operasi Campuran

Langkah selanjutnya dalam menentukan kapasitas operasi campuran *runway* yaitu menemukan kemungkinan dilakukannya operasi keberangkatan diantara dua kedatangan. Pergerakan

pesawat di *runway* harus mengutamakan pesawat yang akan mendarat (*arrivals*) karena apabila tundaan (*delay*) mencapai 30 menit, maka pesawat itu akan dialihkan ke bandara terdekat. Waktu pemakaian *runway* rata-rata, merupakan jumlah perkalian dari prosentase kategori pesawat dengan waktu pemakaian *runway* tiap kategori pesawat. Perhitungan dimulai dengan menghitung pemisahan pada keadaan kedatangan saja dan keberangkatan saja. Setelah itu dihitung kapasitas operasi campuran. Dapat dilihat dibawah bahwa sebagian perhitungan telah diselesaikan pada bagian sebelumnya, sehingga untuk operasi ini yang perlu dilakukan adalah mencari waktu antarkedatangan. Pengecualian untuk pernyataan tersebut adalah perhitungan untuk *Runway Occupancy Time* yang perlu dihitung secara individu untuk masing-masing tipe pesawat.

Guna menghitung ROT digunakan rumus 4.3. ROT adalah waktu pemakaian *runway*, yaitu waktu dari pesawat melewati batas *runway* hingga masuk *taxiway*. Pada kenyataan di lapangan, banyak hal yang memengaruhi ROT, tidak seperti fungsi di rumus 4.3 dimana tidak ada faktor pilot maupun lingkungan. Begitupun pada tugas akhir ini akan menggunakan nilai ROT yang teoritis, sesuai dengan rumus 4.7.

$$ROT = \frac{V_o - V_{td}}{2a_1} + 3 + \frac{V_{td} - V_e}{2a_2} + t \quad (4.7)$$

Dimana:

V_o = Kecepatan Pesawat melewati threshold di udara (m/dt)

V_{td} = Kecepatan Pesawat waktu *touchdown* di *runway* (m/dt)

V_e = Kecepatan Pesawat sebelum masuk *exit taxiway* (m/dt)

t = Waktu pesawat membelok dari *runway* menuju *exit taxiway* (detik)

a_1 = Laju perlambatan di udara (m/s²)

a_2 = Laju perlambatan di darat (m/s²)

Tabel 4.31 memaparkan variable yang dibutuhkan untuk perhitungan ROT. Dengan rumus akan diketahui nilai ROT dan ditabelkan hasilnya pada tabel 4.32. Perlu diketahui bahwa pesawat

membelok dengan sudut 90° menuju *exit taxiway* ke apron, seperti didapatkan dari foto satelit Google.



Gambar 4.26: Keberadaan *Exit Taxiway* Bandara Syamsudin Noor Dibandingkan Posisi *Runway* (Google, 2016)

Tabel 4.31: Variabel Independen Untuk Perhitungan ROT Pesawat 2 November 2013

Untuk sudut 90°				
	Kategori A	Kategori B	Kategori C	Kategori D
V_o	51	62	72	85
V_{td}	39	50	62	72
V_e	7.72	7.72	7.72	7.72
A1	0,76	0,76	0,76	0,76
A2	1,52	1,52	1,52	1,52

Tabel 4.32: Rekapitulasi Hasil Perhitungan ROT

Kategori Pesawat	$(V_o - V_{td})/2a_1$	$(V_{td} - V_e)/2a_2$	ROT
A	7.89	10.29	31.18
B	7.89	13.91	34.8
C	6.58	17.86	37.43
D	8.55	21.15	42.7

Tabel 4.33: Mix Pesawat di *Runway* pada 2 November 2013

Tipe Pesawat	<i>Approach</i> (knot)	<i>Runway Occupancy Time</i> (s)	Mix (%)	
			Kedatangan	Keberangkatan
A	90	31,18	28,57	16,67
B	120	34,8	28,57	50
C	140	37,43	0	0
D	145	42,7	42,86	33,33

$$\sum R_i = (0,2857 \times 31,18) + (0,2857 \times 34,8) + (0,4286 \times 42,7) = 37,152 \text{ dt}$$

$$E \frac{\delta_d}{V_{ij}} = \left[\left(0,2857 \times \frac{2}{(90 \times 1,15)} \right) + \left(0,2857 \times \frac{2}{(120 \times 1,15)} \right) + \left(0,4286 \times \frac{2}{(145 \times 1,15)} \right) \right] \times 3600 = 53,287 \text{ dt}$$

$$Et_d = 362,5 \text{ dt}$$

$$EB_{ij} = 25,6 \text{ dt}$$

Variabel kebutuhan jarak minimum antara threshold dan pesawat yang datang untuk meluncurkan pesawat yang berangkat (δ_d) diberikan 2 mil. Untuk menghitung

kemungkinan suatu operasi keberangkatan dapat dilakukan diantara dua operasi kedatangan menggunakan Persamaan 2.38.

$$E[T_{ij}] > E[R_i] + E + E(B_{ij}) + (n - 1)E(t_d)$$

$$E[T_{ij}] > 37.152 + 53,287 + 25,6 + 362,5 (n - 1)$$

Untuk satu keberangkatan di antara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antarkedatangan sebesar 116,039 detik. Untuk dua keberangkatan diantara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antarkedatangan sebesar 478,539 detik. Dan untuk tiga keberangkatan di antara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antarkedatangan sebesar 841,039 detik. Oleh karena itu, satu kali keberangkatan dapat dilakukan di sembarang waktu jika waktu antarkedatangan sebesar 116,039 detik dan 478,539 detik. Dua kali keberangkatan dapat dilakukan di sembarang waktu jika waktu antarkedatangan sebesar 478,539 detik dan 841,039 detik, dan seterusnya. Pada tugas akhir ini akan digunakan waktu perkiraan satu pesawat berangkat diantara dua pesawat datang. Waktu perkiraan itu dibandingkan dengan ROT, lalu kapasitas *runway* untuk kondisi tersebut dapat dihitung berdasarkan rumus dalam Persamaan 2.39.

Tabel 4.34: Matriks probabilitas [pij] untuk operasi campuran

		Lead			
		A	B	C	D
Trail	A	7%	20%		7%
	B	27%	7%		7%
	C				
	D		13%		13%

$$E\Delta T_{ij} = (154,18 \times 0,0667) + (154,18 \times 0,27) + \dots + (154,18 \times 0,2) = 154,18 \text{ dt}$$

$$\overline{ROT} = 57,93 \text{ detik}$$

$$\Delta T > ROT$$

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd})$$

Maka kapasitas *runway* pada keadaan operasi campuran dengan 1 keberangkatan diantara 2 kedatangan adalah:

$$C_m = \frac{3600}{116,039} (1 + 0,375) = 42,658 \text{ operasi/jam}$$

4.2.4. Analisis Peramalan Pergerakan Pesawat Saat Jam Puncak

Pergerakan pesawat saat jam puncak dapat diramalkan menggunakan fungsi model regresi yang telah dihitung di subbab 4.2.1. Model regresi tersebut menghitung total pergerakan satu rute pergerakan dalam satu tahun. Sementara kapasitas *runway* eksisting yang dihitung di subbab sebelum ini adalah dalam jumlah pergerakan per jam. Agar dapat dibandingkan, keduanya harus berada pada satuan yang sama, yaitu pergerakan pesawat per jam. Perlu diperhatikan bahwa perhitungan kapasitas *runway* dilakukan pada jam tersibuk pada hari tersibuk dan bulan tersibuk pada tahun 2013, yaitu tahun tersibuk dari data observasi.

Sebelum meramalkan, akan dihitung dahulu rasio pergerakan pesawat masing-masing bulan pada tahun tersibuk, rasio masing-masing hari pada bulan tersibuk, dan rasio masing-masing jam pada tahun tersibuk. Perhitungan ini dibutuhkan untuk mengetahui pola bulan, hari dan jam tersibuk sehingga pola tersebut dapat diaplikasikan pada peramalan pergerakan pesawat saat jam puncak. Ketika pola sudah diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung pergerakan pesawat untuk tahun mendatang. Peramalan itu akan dibandingkan dengan kapasitas *runway*

eksisting guna mengetahui periode dibutuhkannya *runway* tambahan.

Menghitung rasio pergerakan pesawat dimulai dari tahap pergerakan total tahunan. Diketahui pergerakan pesawat dari data, lalu ditabelkan seperti pada tabel 4.35. Jumlah pergerakan setiap bulan lalu dibagi dengan pergerakan total pada tahun masing-masing. Proses ini memiliki output rasio bulan puncak, yaitu rasio pergerakan pesawat pada bulan puncak pada tahun dengan pergerakan pesawat terbanyak sesuai data. Hasil perhitungan itu ditabelkan pada tabel 4.36. Diketahui bahwa bulan puncak terdapat pada bulan November tahun 2013 dengan rasio bulan puncak sebesar 0,095.

Selanjutnya akan dihitung rasio hari puncak pada bulan November tahun 2013. Rasio hari puncak adalah rasio jumlah pergerakan pesawat total semua hari dalam satu Minggu pada bulan puncak dalam satu tahun. Tabel 4.37 memaparkan jumlah pergerakan yang ada pada bulan November tahun 2013 setiap hari dalam satu Minggu. Tabel 4.38 memaparkan jumlah rasio hari puncak dalam satu Minggu pada Bulan November tahun 2013. Proses ini telah menghitung pola distribusi pergerakan pesawat setiap hari dalam setiap Minggu pada bulan November 2013.

Tabel 4.35: Pergerakan Pesawat Total Bandar Udara Symasudin Noor Banjarmasin (Angkasa Pura)

Pergerakan Pesawat Total					
Bulan	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	1900	2334	2813	2606	2189
Februari	1714	2240	2332	2108	2000
Maret	2142	2438	2670	2463	2340
April	2064	2391	2391	2382	2450
Mei	2039	2554	2554	2474	2503
Juni	2115	2539	2539	2541	2377
Juli	2137	2464	2464	2361	2620
Agustus	1858	2616	2616	2823	2636

Tabel 4.35 (Lanjutan): Pergerakan Pesawat Total Bandar Udara Syamasudin Noor Banjarmasin (Angkasa Pura)

Pergerakan Pesawat Total					
September	2113	2752	2760	2645	2467
Oktober	2272	2774	2762	2718	2523
November	2286	2881	2871	2729	2413
Desember	2333	2780	2780	2807	2647
Total	24143	29470	30081	29952	28875

Tabel 4.36: Rasio Pergerakan Pesawat Total Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin

Rasio Pergerakan Pesawat Total					
Bulan	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	0.079	0.082	0.094	0.087	0.076
Februari	0.071	0.079	0.078	0.070	0.069
Maret	0.089	0.086	0.089	0.082	0.081
April	0.085	0.084	0.079	0.080	0.085
Mei	0.084	0.090	0.085	0.083	0.087
Juni	0.088	0.089	0.084	0.085	0.082
Juli	0.089	0.087	0.082	0.079	0.091
Agustus	0.077	0.092	0.087	0.094	0.091
September	0.088	0.097	0.092	0.088	0.085
Oktober	0.094	0.097	0.092	0.091	0.087
November	0.095	0.101	0.095	0.091	0.084
Desember	0.097	0.098	0.092	0.094	0.092
Total	1	1	1	1	1

Setelahnya adalah perhitungan rasio jam puncak. Hari Sabtu tanggal 2 November 2013 adalah tanggal puncak dalam bulan tersibuk, dan rasio jumlah pergerakan pesawat pada jam paling sibuk dibandingkan jumlah pergerakan pesawat hari itu akan mendapatkan rasio jam puncak. Jumlah pergerakan pesawat di hari Sabtu, 2 November 2013 adalah 108 dari total 2871 dalam bulan November. Jam tersibuk dalam hari itu adalah pada jam 12:00 – 12:59 dengan jumlah pergerakan 15 kali. Rasio jam puncak

pun dapat dihitung. Hasil perhitungan rasio bulan, hari, dan jam ditabelkan pada tabel 4.38.

Tabel 4.37: Jumlah Pergerakan Pesawat Semua Hari Bulan November 2013

Hari	Tanggal	Jumlah Pergerakan Pesawat
Senin	4,11,18,25	364
Selasa	5,12,19,26	402
Rabu	6,13,20,27	396
Kamis	7,14,21,28	391
Jum'at	1,8,15,22,29	495
Sabtu	2,9,16,23,30	482
Minggu	3,10,17,24	341
Total Pergerakan		2871

Tabel 4.38: Rasio Hari Puncak Bulan November 2013

Hari	Tanggal	Rasio Hari Puncak
Senin	4,11,18,25	0,127
Selasa	5,12,19,26	0,14
Rabu	6,13,20,27	0,138
Kamis	7,14,21,28	0,136
Jum'at	1,8,15,22,29	0,172
Sabtu	2,9,16,23,30	0,168
Minggu	3,10,17,24	0,119
Total Pergerakan		1

$$Rasio\ jam\ puncak = \frac{15}{495} = 0,03$$

Tabel 4.39: Jenis Rasio dan Rasionya

Jenis Rasio	Rasio
Rasio Bulan Puncak	0,098
Rasio Hari Puncak	0,172
Rasi Jam Puncak	0,03

Rasio memudahkan perhitungan peramalan untuk tahun mendatang. Setelah diketahui rasio tersebut, peramalan pergerakan pesawat total dapat dilakukan. Tabel 4.40 adalah hasil dari peramalan pergerakan pesawat melalui model regresi yang telah didapatkan dari 2 subbab sebelum ini. Apa yang tidak ditampilkan adalah pergerakan pesawat pada tahun n lebih besar dari 25. Begitupun, model regresi dapat memodelkan tahun-tahun yang tidak ditampilkan di tabel jika diketahui bahwa kapasitas *runway* masih mencukupi hingga tahun 2035.

Tabel 4.40: Peramalan Pergerakan Pesawat Bandara Internasional Syamsudin Noor Banjarmasin Hingga 2035 ($n = 25$)

Tahun ke-	Tahun	Domestik			Internasional			Total
		Datang	Berangkat	Total	Datang	Berangkat	Total	
6	2016	17312	17323	34635	151	46	196	34831
7	2017	18211	18221	36433	181	49	230	36663
8	2018	19111	19120	38230	211	53	263	38494
9	2019	20010	20018	40028	241	56	297	40325
10	2020	20909	20916	41825	271	60	331	42156
15	2025	25405	25407	50812	422	77	499	51311
20	2030	29901	29898	59799	573	95	668	60467
25	2035	34397	34389	68786	724	112	836	69622

Diketahuinya total pergerakan yang diperkirakan melanjutkan perhitungan ke langkah selanjutnya. Hasil dari perhitungan rasio akan dikalikan dengan total pergerakan pesawat yang diperkirakan terjadi di tahun mendatang. Langkah ini adalah sebagai pemakaian pola bulan, hari dan jam puncak pada hasil regresi. Pertama akan dikalikan rasio bulan puncak dengan total pergerakan per tahun/ Hasilnya dikalikan dengan rasio hari puncak. Hasil perkalian itu dikalikan dengan rasio jam puncak untuk mengetahui jumlah pergerakan pesawat pada jam tersibuk di tahun

yang dikehendaki di masa mendatang. Contoh perhitungan untuk masing-masing perhitungan menjelaskan hasil yang tertera pada tabel 4.41, 4.42 dan 4.43 untuk tahun 2020.

Untuk rasio bulan puncak tahun 2020:

$$\text{Penerbangan bulan puncak} = 41825 \times 0,098 = 4099$$

Untuk rasio hari puncak tahun 2020

$$\text{Penerbangan hari puncak} = 4099 \times 0,172 = 705$$

Untuk rasio jam puncak tahun 2020:

$$\text{Penerbangan jam puncak} = 705 \times 0,03 = 21$$

Tabel 4.41: Hasil Perhitungan Jumlah Penerbangan Pada Bulan Puncak di Tahun Mendatang

Tahun ke-	Tahun	Domestik			Internasional			Total
		Datang	Berangkat	Total	Datang	Berangkat	Total	
6	2016	1697	1698	3394	15	5	19	3413
7	2017	1785	1786	3570	18	5	23	3593
8	2018	1873	1874	3747	21	5	26	3772
9	2019	1961	1962	3923	24	5	29	3952
10	2020	2049	2050	4099	27	6	32	4131
15	2025	2490	2490	4980	41	8	49	5028
20	2030	2930	2930	5860	56	9	65	5926
25	2035	3107	3106	6213	62	10	72	6285
33	2043	4076	4074	8150	95	14	108	8259
35	2045	4252	4250	8502	101	14	115	8617

Langkah selanjutnya adalah menentukan periode saat kapasitas *runway* eksisting dilampaui oleh jumlah pergerakan pesawat saat jam puncak. Untuk mendapatkan periode tersebut dalam tugas akhir ini akan dibuat model regresi pergerakan pesawat saat jam puncak. Menggunakan hasil perhitungan pada tabel 4.43, model regresi dapat dicari dengan trendline Microsoft excel seperti pada subbab sebelumnya. Gambar 4.26 adalah plot dari model regresi yang telah dihitung. Model regresi linear diketahui persamaanya sebagai $y = 0.926x - 1849,3$, dengan x variable bebas tahun di masa mendatang.

Tabel 4.42: Hasil Perhitungan Jumlah Penerbangan Pada Hari Puncak di Tahun Mendatang

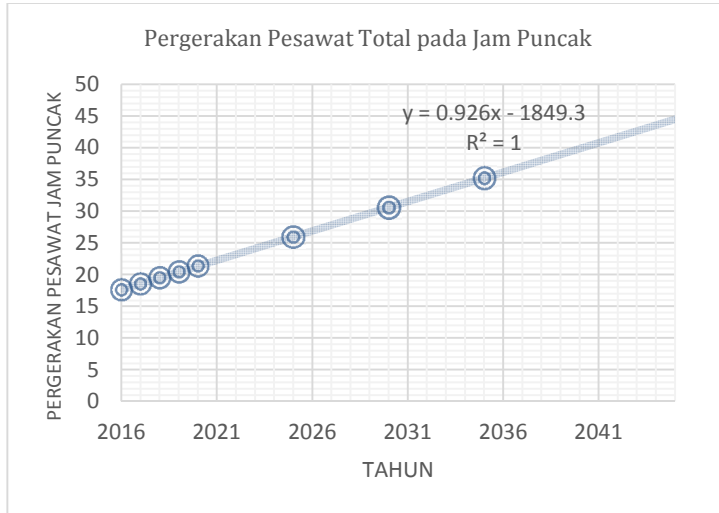
Tahun ke-	Tahun	Domestik			Internasional			Total
		Datang	Berangkat	Total	Datang	Berangkat	Total	
6	2016	292	292	584	3	1	3	587
7	2017	307	307	614	3	1	4	618
8	2018	322	322	644	4	1	4	649
9	2019	337	337	675	4	1	5	680
10	2020	352	353	705	5	1	6	711
15	2025	428	428	857	7	1	8	865
20	2030	504	504	1008	10	2	11	1019
25	2035	580	580	1159	12	2	14	1174
33	2043	701	701	1402	16	2	19	1420
35	2045	731	731	1462	17	2	20	1482

Tabel 4.43: Hasil Perhitungan Jumlah Penerbangan Pada Jam Puncak di Tahun Mendatang

Tahun ke-	Tahun	Domestik			Internasional			Total
		Datang	Berangkat	Total	Datang	Berangkat	Total	
6	2016	9	9	18	0	0	0	18
7	2017	9	9	18	0	0	0	19
8	2018	10	10	19	0	0	0	19
9	2019	10	10	20	0	0	0	20
10	2020	11	11	21	0	0	0	21
15	2025	13	13	26	0	0	0	26
20	2030	15	15	30	0	0	0	31
25	2035	17	17	35	0	0	0	35
33	2043	21	21	42	0	0	1	43
35	2045	22	22	44	1	0	1	45

Plot grafik pada gambar 4.27 selanjutnya dibandingkan dengan plot grafik kapasitas *runway* eksisting. Grafik kapasitas *runway* eksisting adalah plot dari fungsi konstan yang tidak berubah. Gambar 4.28 menggambarkan plot pergerakan pesawat total pada jam puncak dan berbagai kondisi kapasitas *runway* eksisting. Setelah mengetahui hubungannya, maka dapat ditentukan periode dibutuhkan *runway* tambahan pada Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin. Hasil di grafik menunjukkan bahwa pada keadaan bebas kesalahan, kapasitas *runway* eksisting akan dapat melayani pergerakan pesawat pada jam puncak hingga

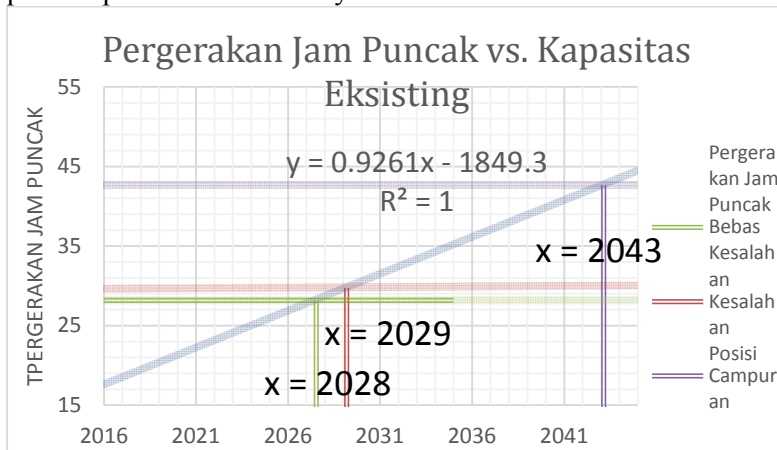
tahun 2028. Untuk keadaan kesalahan posisi, *runway* eksisting dapat melayani pesawat hingga tahun 2029. Sementara untuk keadaan operasi campuran 1 pesawat berangkat diantara dua kedatangan *runway* dapat melayani pergerakan pesawat hingga tahun 2043.



Gambar 4.27: Grafik Model Regresi Linear Pergerakan Pesawat Total pada Jam Puncak

Didapatkannya hasil peramalan periode runway kedua dibutuhkan membuat jelas kesimpulan untuk subbab ini. Peramalan pergerakan pesawat total di masa depan didapatkan dari model regresi linear untuk semua pergerakan yang dijumlahkan. Peramalan itu akan dikalikan dengan rasio bulan, hari dan jam puncak agar satuan pergerakan pesawat pada tahun tersibuk dikonversi menjadi pergerakan pesawat pada jam tersibuk. Tujuan konversi ini adalah agar peramalan pergerakan pesawat dapat dibandingkan dengan kapasitas runway eksisting. Proses perbandingan dilakukan antara pergerakan pesawat dan tiga keadaan kapasitas runway. Hasil proses tersebut adalah tahun di masa mendatang dimana pergerakan pesawat di jam puncak

melebihi kapasitas runway eksisting, sehingga menjadi indikator periode penambahan runway.



Gambar 4.28: Pergerakan Pesawat Pada Jam Puncak di Tahun Mendatang dan Kapasitas Eksisting Untuk Berbagai Kondisi

Hasil perhitungan menyimpulkan bahwa *runway* tunggal Bandar Udara Syamsudin Noor butuh untuk ditambah jumlahnya pada masa mendatang agar dapat melayani pesawat yang datang dan berangkat. Tahun dibutuhkannya *runway* tambahan adalah pada tahun 2027 pada keadaan bebas kesalahan, tahun 2029 untuk keadaan kesalahan posisi, dan pada tahun 2043 untuk keadaan operasi campuran antara datang dan berangkat. Tugas akhir ini mengasumsikan bahwa operasi campuran dengan satu operasi keberangkatan diantara dua operasi kedatangan adalah yang berlaku di masa mendatang, sehingga tahun dibutuhkannya *runway* tambahan di Bandara Syamsudin Noor adalah pada tahun 2043.

4.3. Perencanaan *Runway*, *Exit Taxiway*, dan *Taxiway*

Analisis kapasitas *runway* pada subbab 4.2 menunjukkan bahwa pada tahun 2043 *runway* eksisting tidak dapat menampung pergerakan pesawat yang muncul. Perencanaan *runway* tambahan

diperlukan untuk meningkatkan kapasitas pergerakan pesawat yang dapat dilayani oleh Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin. Subbab ini akan merencanakan *runway* tambahan beserta *taxiway* dan *exit taxiway*-nya. Perencanaan meliputi sistem, dimensi, dan fasilitas terkait *runway*, *taxiway* dan *exit taxiway*.

Perlu diketahui bahwa tugas akhir ini merencanakan *layout runway* dengan mendasarkan keputusan desain kepada hasil analisis windrose yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini. Seperti diulas pada bab I & II, menurut analisis windrose *runway* eksisting 10 – 28 tidak perlu dikomplemen dengan *runway* tambahan. Sebab tugas akhir ini merencanakan *layout runway*, maka skenario perencanaan yang memungkinkan adalah perencanaan *runway* baru karena kapasitas *runway* eksisting tidak dapat melayani pergerakan pesawat. Arah *runway* sendiri disarankan menganut arah yang sama dengan arah eksisting, yaitu 10 -28, karena cakupannya cakupan angin minimal berdasarkan persyaratan FAA. *Runway* rencana akan berada pada arah 100° – 280° atau 10 – 28 menurut aturan penomoran.

4.3.1. Sistem *Runway* Rencana

Subbab ini akan menganalisis berbagai sistem *runway* yang dapat diaplikasikan di Bandar udara Syamsudin Noor dengan kondisi adanya *runway* tambahan. Referensi yang diambil adalah tabel 2.1 dari bab 2, dimana dilakukan studi terhadap sistem *runway* rencana untuk *runway* baru Bandar udara Syamsudin Noor. Sumber hasil studi berasal dari berbagai buku teks yang membahas topic seputar perencanaan bandara. Daftar pustaka menjabarkan berbagai sumber yang menjadi referensi pengerjaan tugas akhir ini.

Berbagai macam sistem *runway* yang telah diketahui kapasitasnya dibandingkan satu sama lain di tabel 2.1. Diketahui bahwa perencanaan akan mengakomodasi *runway* rencana 10 – 28. Jika mendasarkan keputusan pemilihan sistem *runway* pada keputusan itu, maka jelas bahwa sistem *runway* eksisting dan rencana akan menganut sistem paralel. Dapat dilihat bahwa untuk keadaan VFR (Visual Flight Rules) kapasitas dari *runway* sistem

paralel berkisar antara 60 – 200 penerbangan dan untuk keadaan IFR berkisar antara 50 – 120 (dekat - jauh).

Tabel 2.1: Konfigurasi *Runway* dan Kapasitasnya

Konfigurasi <i>Runway</i>	Kapasitas VFR	Kapasitas IFR
Single	50 – 100	50 - 70
Paralel	60 – 200 (dekat – jauh)	50 – 60 (dekat) 50 – 75 (sedang) 100 – 120 (jauh)
Bersimpang	Bervariasi	Bervariasi
V Terbuka	60 – 180 (menjauh V)	50 – 80 (menjauh V)

4.3.2. Jarak Pemisahan *Runway* Paralel

Telah diberikan penjabaran mengenai jarak pemisahan minimum pada subbab 2.1.1, namun angka kisaran yang disediakan pada subbab tersebut mengacu pada standar Negara Amerika Serikat. Untuk *runway* rencana, akan digunakan standar nasional yaitu SKEP 77 tahun 2005 oleh Dirjen Perhubungan Udara. Mengacu pada dokumen tersebut pada bab 2.1.2 bagian Parallel *Runways* bagian b, maka untuk *runway* instrument independen dengan keberangkatan dan kedatangan yang bersamaan (simultan) diperlukan pemisahan antara *runway* parallel minimum sebesar 1035 m.

4.3.3. Panjang *Runway* Rencana

Kebutuhan *runway* dispesifikasi dalam petunjuk teknis berbeagai merek pesawat. Diketahui dari data pesawat yang menggunakan *runway* bandar udara Syamsudin Noor bahwa pesawat terbesar pada periode puncak yang dianalisis adalah Boeing 737-900.

Pesawat terbesar, disebut juga pesawat kritis yang ditentukan adalah pesawat Boeing tipe 737-900 dimana dalam

dokumen D6-58325-6 Boeing 737 *Airplane Characteristics for Airport Planning* dispesifikasi bahwa berat maksimum landing untuk perencanaan (*Maximum Design Landing Weight*) adalah sebesar 146300 lbs. Guna mengetahui kebutuhan panjang *runway* dibutuhkan grafik kebutuhan panjang *runway* untuk pesawat terbesar. Gambar 2.7 mengilustrasikan grafik kebutuhan panjang *runway* untuk pesawat Boeing 737-900, dengan output panjang *runway* dan input berat mendarat untuk perencanaan serta elevasi *runway* terhadap muka air laut. Penggunaan grafik cukup intuitif dengan memasukkan 146300 lbs sebagai operational landing weight di sumbu x dan elevasi *runway* terhadap muka air laut di garis kurva yang tersedia. Apabila elevasi *runway* tidak mempunyai garis kurva di grafik, maka akan diinterpolasi nilai elevasi *runway* terhadap garis kurva. Bandara Syamsudin Noor *runway*-nya mempunyai ketinggian 32,89 m dari permukaan air laut (mdpl). Hasil dari analisis grafik tersebut adalah 6800 feet atau 2150 meter untuk keadaan *runway* basah. Hasil ini belum menjadi final karena akan dibandingkan dengan penggunaan grafik panjang *runway* dengan input berat takeoff maksimum untuk perencanaan (*Maximum Design Take Off Weight*). Grafik 4.24 menunjukkan dengan MDTOW sebesar 174200 lbs. Ketinggian 32,89 mdpl menghasilkan panjang *runway* minimum sebesar 8200 feet atau 2500 meter. Pada tahap ini setelah dibandingkan kedua hasil panjang *runway* rencana, dipilihlah 2500 meter sebagai panjang *runway*.

Proses selanjutnya dalam penentuan panjang *runway* rencana adalah mengkoreksi panjang *runway* minimum untuk pesawat terbesar terhadap elevasi, gradien *runway*, dan suhu bandara. Pertama dihitung koreksi berdasarkan elevasi terhadap permukaan air laut. Menurut ICAO, setiap 300 m ketinggian diatas air laut harus ditambahkan 7% dari panjang *runway*. Bandara Syamsudin Noor terletak 32,89 meter diatas air laut, sehingga didapatkan 1,008 sebagai faktor koreksi elevasi. Kedua akan dihitung koreksi berdasarkan suhu. Menurut ICAO, setiap kenaikan 1° Celsius dari suhu standar 15° Celsius dikenakan faktor koreksi sebesar 1%. Juga, setiap 1000 mdpl suhu akan turun

sebesar $6,5^{\circ}$ Celsius. Perhitungan mendapatkan hasil 1,518 sebagai faktor koreksi temperatur. Terakhir dikoreksikan panjang *runway* dengan gradien efektif bandara. Untuk kemiringan, ada penambahan panjang sebesar 0,1 setiap 1% kemiringan. Gradien efektif *runway* bandar udara Syamsudin Noor adalah 0,8%. Hasilnya adalah 1,08 faktor gradien. Faktor-faktor yang sudah dihitung dikalikan dengan panjang *runway* dari perhitungan grafis sebelumnya. Perhitungan perkalian ini menghasilkan panjang *runway* sebesar 3325.795 meter, sehingga untuk perencanaan panjang *runway* menjadi 3326 meter.

$$F_e = 1 + \left(0,07 \times \frac{32,89}{300} \right) = 1,008$$

$$F_t = 1 + 0,01 \times (37 - (15 - \left(\frac{6,5}{1000} \times 32,89 \right)) = 1,222$$

$$F_s = 1 + (0,1 \times 0,8) = 1,08$$

$$L = L_o \times F_e \times F_t \times F_s = 3325.795 \text{ meter}$$

ARFL (*Aeroplane Reference Field Length*) yang didapatkan dari proses sebelum ini dapat dikategorikan menurut ARC (*Aerodrome Reference Code*), yaitu kode dari ICAO untuk bandara berdasarkan ARFL dan karakteristik pesawat terbesar. Tabel 4.44 memaparkan klasifikasi ARC berdasarkan kriteria-kriteria *runway* dan pesawat terbesar. Didapatkan ARC adalah 4C karena bentang sayap pesawat terbesar Boeing 737-900 sebesar 35,8 meter dan nilai ARFL dari bagian sebelumnya yaitu 3326 meter.

Tabel 4.44: Penentuan ARC (ICAO)

Kode Elemen I		Kode Elemen II		
Kode Angka	ARFL (m)	Kode Huruf	Bentang Sayap (m)	Jarak Terluar Gear (m)
1	<800	A	<15	<4,5

Tabel 4.44 (Lanjutan): Penentuan ARC (ICAO)

Kode Elemen I		Kode Elemen II		
Kode Angka	ARFL (m)	Kode Huruf	Bentang Sayap (m)	Jarak Terluar Gear (m)
2	$800 \leq x < 1200$	B	$15 \leq x < 24$	$4,5 \leq x < 6$
3	$1200 \leq x < 1800$	C	$24 \leq x < 36$	$6 \leq x < 9$
4	≥ 1800	D	$36 \leq x < 52$	$9 \leq x < 14$
		E	$52 \leq x < 65$	$9 \leq x < 14$
		F	$65 \leq x < 80$	$14 \leq x < 16$

4.3.4. Lebar *Runway* Rencana

Lebar landas pacu, atau *runway* dapat diketahui dari tabel pada dokumen SKEP 77 2005 oleh Dirjen Perhubungan. Tabel tersebut ditulis ulang di tabel 4.32. Dalam tabel tersebut dirinci lebar *runway* menurut ARC yang telah diketahui. Untuk kasus *runway* rencana bandara Syamsudin Noor ini karena ARC diketahui 4C, dan didapatkan lebar *runway* sebesar 45 m dari tabel.

4.3.5. Jarak *Holdline Runway* Rencana

Mengetahui bahwa pesawat terbesar, yaitu Boeing 737-900 masuk kedalam kelompok *approach* D III maka didapatkan *holdline* sepanjang 75 meter, pemisahan garis tengah *taxiway* ke *runway* sebesar 120 m dan jarak ke area parkir pesawat sebesar 150 m. Hal ini disebabkan oleh spesifikasi pesawat tersebut, dengan kecepatan *approach* sebesar 141 knot, *tail height* sebesar 41,4 feet, dan *wingspan* sebesar 117,4 feet

4.3.6. Arah *Runway* Rencana

Menentukan arah *runway* memerlukan analisis angin di bandara yang ingin direncanakan. Bab ini telah membahas analisis angin di bandara rencana, yaitu bandara Syamsudin Noor Banjarmasin, dan hasilnya telah dipaparkan di subbab 4.1. *Runway* eksisting 10 – 28 sudah mencukupi persyaratan FAA untuk 95%

crosswind searah *runway*. Untuk *runway* rencana akan dipakai arah $100^{\circ} - 280^{\circ}$ azimuth atau 10 – 28.

4.3.7. Penomoran *Runway* Rencana

Runway bandara Syamsudin Noor akan dinomorkan 10-28L untuk *runway* eksisting dan 10-28R untuk *runway* rencana. Diketahui bahwa *runway* kedua akan berada pada $100 - 280$ derajat azimuth, maka pada muka *runway* sisi 100 derajat azimuth dinomorkan 10, dan muka *runway* sisi 280 derajat dinomorkan 28. Pesawat yang menggunakan *runway* 10 berarti melewati batas *runway* pada *runway* 28 dan mendekati *runway* 10, begitu juga sebaliknya. Konvensi penomoran ini sedikit dimodifikasi dalam kasus dimana ada dua *runway* dengan arah persis sama.

4.3.8. Fasilitas *Runway* Rencana

4.3.8.1. Blast Pad/Stopway

Dimensi stopway diketahui dari SKEP 77 2015 dengan memasukkan kelompok *approach* pesawat terbesar. Memasukkan kelompok pesawat B 737-900 dalam tabel 2.7 menghasilkan dimensi stopway 60 x 30 m dengan kemiringan 0,3 % per 30 m.

4.3.8.2. *Holding Bay*

Menggunakan tabel 2.8 dapat ditentukan dimensi dari *Holding Bay*. Didapatkan jarak ruang bebas sebesar 7,5 -12 m dan jarak *Holding bay* ke tengah *runway* 90 m untuk pendekatan presisi.

4.3.9. Dimensi *Taxiway*

Spesifikasi dokumen Boeing telah menjabarkan jarak antara tepi roda 737-900 adalah 7 m dengan tambahan jarak minimum ke tepi sebesar 3 m (dari tabel). Total jaraknya 10 m, yang dibandingkan dengan 15 m yang sudah ditentukan dari kelompok *approach* pesawat. Lebar *taxiway* ditentukan 15 m sebab lebih besar sehingga memfasilitasi jarak minimum ke tepi *taxiway*.

4.3.10. **Bahu Taxiway**

Lebar pada tabel adalah lebar total *taxiway* dengan dua bahu *taxiway* di kanan dan kiri. Didapatkan dari tabel lebar total *taxiway* sebesar 25 m, jadi masing-masing bahu *taxiway* mempunyai lebar 5 m.

4.3.11. **Fillet Taxiway**

Didapatkan R putaran *taxiway* sepanjang 30 m, panjang peralihan L sepanjang 45 m, jari-jari *oversteer* simetris F sepanjang 20,4, jari-jari *oversteer* satu sisi F sepanjang 18 m dan jari-jari *fillet* untuk trackling centre line sepanjang 16,5 m.

Selanjutnya untuk jari-jari *fillet* dispesifikasi di dokumen yang sama dari Dirjen Perhubungan Udara. Penentuan jari-jari *fillet* menggunakan tabel 2.11 dengan memasukkan kode kelompok *approach* pesawat terbesar. Kasus ini, digunakan kode C/III untuk Boeing 737-900. Didapatkan R1 dan R2 sebesar 41,5 m dan ro, r1 serta r2 sepanjang 52, 35 dan 25 meter.

4.3.12. **Runway Strip**

Dari tabel 2.4 didapatkan lebar minimum *runway* 300 m, permukaan strip 120 m, dan lebar minimum 150 m. Kemiringan memanjang maksimum yang diratakan 1,75 %. Perubahan maksimum tiap 30 m pada strip diluar ambang landasan 2 %. Kemiringan melintang maksimum yang diratakan adalah 2,5 %. Perubahan maksimum pada 3 m pertama dari tepi landasan, bahu landasan dan stopway adalah 5 %. Kemiringan maksimum diluar bagian yang diratakan adalah 5%.

4.3.13. **Runway End Safety Area**

Runway End Safety Area (RESA) adalah daerah yang disediakan di samping *runway* untuk mengantisipasi kesalahan operasi *takeoff* maupun *landing* dan mencegah kerusakan pada pesawat karenanya. Dimensi RESA diatur dalam SKEP 77 tahun 2005 oleh Dirjen Perhubungan Udara. Tabel 4.45 menunjukkan persyaratan dimensi RESA dalam dokumen tersebut. Menurut

tabel tersebut, jarak minimum antara *holding bay* dengan garis tengah *runway* disyaratkan sepanjang 90 m. Lebarnya minimum 30 m, lalu kemiringan memanjang dan melintang maksimum 5%.

Tabel 4.45: Persyaratan Dimensi RESA (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Uraian	Code Letter					
	A/I	B/II	C/III	D/IV	E/V	F/VI
Jarak minimum antara <i>holding bay</i> dengan garis tengah landasan						
a. Landasan instrument (m)	90	90	90	90	90	90
b. Landasan non-instrument (m)	60	60	90	90	90	90
Lebar minimum (m) atau (2 kali lebar <i>Runway</i>)	18	23	30	45	45	60
Kemiringan memanjang maksimum (%)	5	5	5	5	5	5
Kemiringan melintang maksimum (%)	5	5	5	5	5	5

4.3.14. *Clearway*

Clearway adalah suatu daerah tertentu pada akhir landas pacu yang dipilih sebagai daerah terbuka diluar blast pad untuk melindungi pesawat saat melakukan maneuver pendaratan maupun lepas landas. Dimensi *Clearway* mengikuti rekomendasi ICAO pada dokumen Annex 14 seperti berikut:

- Letak *Clearway* berada pada ujung jalur *takeoff* yang tersedia
- Panjang *Clearway* tidak melebihi setengah jalur take-off yang tersedia.

- Lebar *Clearway* 75 m pada kedua sisi perpanjangan *runway*, maka lebar total adalah 150 m.
- Kemiringan bidang *Clearway* 1,25%

Bila mengikuti rekomendasi ICAO, maka panjang clear way adalah 1250 m dan lebarnya 150 m dengan kemiringan 1,25%.

4.3.15. Kemiringan Memanjang Maksimum *Runway*

Kemiringan memanjang diatur oleh Dirjen Perhubungan Udara pada tahun 2005 di dokumen SKEP 77. Tabel 4.46, 4.47, dan 4.48 merinci syarat oleh Dirjen Perhubungan Udara mengenai kemiringan memanjang *runway*.

Tabel 4.46: Persyaratan Kemiringan Memanjang *Runway* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Code Letter	Penggolongan Pesawat	<i>Runway</i> Gradient (m)	Pada Bagian Landasan (%)	$\frac{1}{4}$ dari ujung landasan	Jarak tampak pada jarak min $\frac{1}{2}$ landasan
A	I	≤ 2	≤ 2	-	1,5
B	II	≤ 2	≤ 2	-	1,5
C	III	≤ 1	$\leq 1,5$	$\leq 0,8$	2
D	IV	≤ 1	$\leq 1,5$	$\leq 0,8$	2
E	V	≤ 1	$\leq 1,25$	$\leq 0,8$	3
F	VI	≤ 1	$\leq 1,25$	$\leq 0,8$	3

Menurut tabel dapat diketahui bahwa *gradient runway* maksimal 1 m, dengan kemiringan pada bagian landasan sebesar 1,5% dan 0,8% pada $\frac{1}{4}$ landasan. Jarak tampak pada minimum $\frac{1}{2}$ landasan sebesar 2%. Jarak antara dua perubahan sudut berurutan

(D) disyaratkan melebihi 45 m, atau seperti pada rumus 4.4. Koefisien k didapatkan dari tabel 4.42.

Tabel 4.47: Kurva Kemiringan Memanjang (Dirjen Perhubungan Udara, 2015)

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Perubahan Berurutan (m)	Jari-jari Peralihan (%) / (m)	Punya Vertikal Minimum (m)	Jarak antara 2 perubahan Sudut Berurutan (m)
A	I	≤ 2	0,4/30	7.500	≥ 45
B	II	≤ 2	0,4/30	7.500	≥ 45
C	III	$\leq 1,5$	0,2/30	15.000	≥ 45
D	IV	$\leq 1,5$	0,2/30	15.000	≥ 45
E	V	$\leq 1,5$	0,1/30	30.000	≥ 45
F	VI	$\leq 1,5$	0,1/30	30.000	≥ 45

Tabel 4.48: Nilai Koefisien k (Dirjen Perhubungan Udara, 2015)

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Nilai Koefisien
A	I	50
B	II	50
C	III	150
D	IV	150
E	V	300
F	VI	300

$$D = k (| S1-S2 | + | S2 - S3 | / 100 \quad (4.4)$$

Dimana:

S1 = Presentase kemiringan kurva pertama dari 3 berurutan

S2 = Presentase kemiringan kurva kedua dari 3 berurutan

S3 = Presentase kemiringan kurva ketiga dari 3 berurutan

Menurut tabel 4.47 pada perubahan berurutan tidak boleh melebihi panjang 2 m, dengan jari-jari peralihan 0,2 % / 30 m, kurva vertikan minimum sebesar 15000 m dan jarak antara 2 perubahan sudut berurutan minimum 45 m.

4.3.16. Kemiringan Melintang *Runway*

Kemiringan melintang pun diatur pada SKEP 77 tahun 2005 oleh Dirjen Perhubungan Udara. Tabel 4.49 memaparkan persyaratan yang harus dipenuhi mengenai kemiringan melintang dari dokumen tersebut. Akhirnya didapatkan kemiringan melintang maksimum sebesar 2% dan minimum 1% dengan rekomendasi 1,5%.

Tabel 4.49: Kemiringan Melintang *Runway* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Preferred Slope	Minimum Slope	Maximum Slope (%)
A	I	2	1,5	2,5
B	II	2	1,5	2,5
C	III	1,5	1	2
D	IV	1,5	1	2

Tabel 4.49 (Lanjutan): Kemiringan Melintang *Runway* (Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Preferred Slope	Minimum Slope	Maximum Slope (%)
E	V	1,5	1	2
F	VI	1,5	1	2

4.3.17. Marka Batas *Runway*

Menurut tabel 2.5 didapatkan jumlah strip (baris) untuk marka batas *runway* rencana adalah 12 buah. Masing-masing baris berwarna putih dengan lebar 1,75 m dan panjang 45 m. Dua set marka batas *runway* dipisah garis tengah (*centerline*) *runway* dengan jarak 3,5 meter antara ujung terdalam baris dari garis tengah. Bila butuh pemindahan marka batas diberikan marka panah dari batas *runway* sepanjang 36 m dan berjarak 24 m dari ujung anak panah dengan garis lurus marka panah berikutnya. Dari gambar 2.9 dibutuhkan 4 anak panah tegak lurus dengan garis tebal selebar 3 m, jarak antar anak panah dan garis tebal adalah 1,5 m.

4.3.18. Marka Zona *Touchdown*

Tabel 2.6 memberikan penjelasan bahwa jumlah marka untuk *runway* rencana adalah tiga. Marka zona *touchdown* terdiri dari 2 set satu sampai tiga baris berwarna putih. Baris tersebut berdimensi 150 m dari ujung *runway* dengan panjang 22,5 m dan lebar 2 m. Jarak antar baris marka adalah 1,5 m. Jarak pemisahan antara kedua set baris sebesar 21,6 m dan as terletak pada garis tengah *runway*.

4.3.19. *Exit Taxiway*

Jarak *exit taxiway* dihitung dari ujung *runway*. Jarak tersebut dibagi dua yaitu, jarak dari ujung *runway* ke titik *touchdown* (D1) dan jarak titik *touchdown* ke *exit taxiway* (D2).

Perencanaan letak *exit taxiway* dari ujung *runway* digunakan untuk menunjukkan *exit taxiway* mana yang paling banyak digunakan dalam proses pendaratan pesawat. Setiap kategori pesawat membutuhkan jarak yang berbeda, demikian juga dengan sudut *exit taxiway*. Data kecepatan dan perlambatan pesawat dapat dilihat pada tabel 4.50.

Tabel 4.50: Kecepatan dan Perlambatan Pesawat berdasarkan kategori *Approach* (Sylvia, 2004)

Kategori Pesawat	Vot	Vtd	Vo (m/dt)			a1	a2
	(m/dt)	(m/dt)	30°	45°	90°	(m/dt ²)	(m/dt ²)
A	46,94	44,17	30,87	20,58	7,72	0,76	1,52
B	61,67	50	30,87	20,58	7,72	0,76	1,52
C	71,94	61,67	30,87	20,58	7,72	0,76	1,52
D	85	71,94	30,87	20,58	7,72	0,76	1,52

Kecepatan pesawat waktu *touchdown* dianggap rata-rata 1,3 kali kecepatan pendaratan, pada konfigurasi pendaratan dengan rata-rata berat pendaratan kotor 85% dari maksimum.

Setelah pesawat *touchdown* di *runway*, pesawat akan mengalami perlambatan dari kecepatan *touchdown*nya dan mencapai kecepatan lebih rendah yang aman untuk berbelok ke *exit taxiway*. Kecepatan keluar ini tergantung pada besar sudut *exit taxiway*, semakin kecil sudut *exit taxiway* maka kecepatan keluar yang diizinkan semakin besar. Hal ini karena semakin mudahnya pesawat dalam melakukan maneuvernya. *Exit taxiway* bersudut 90° memungkinkan pesawat keluar dengan kecepatan paling rendah. Kecepatan keluar *exit taxiway* yang dimaksud adalah kecepatan ketika pesawat berada di *tangent curve* dari *exit taxiway*.

Menggunakan rumus 2.4, 2.5 dan 2.6 dapat didapatkan jarak ujung *runway* ke titik *touchdown* dan jarak titik *touchdown* ke *exit taxiway*. Contoh kasus berikut: pesawat kritis kategori A dengan sudut *exit taxiway* ditentukan 30°

$$Vot = 46,94 \text{ m/dt}$$

$$Vtd = 44,17 \text{ m/dt}$$

$$Vo = 30,87 \text{ m/dt}$$

$$\begin{aligned}a_1 &= 0,76 \\ a_2 &= 1.52\end{aligned}$$

Maka jarak dari ujung *runway* ke titik *touchdown* D_2 didapatkan dari rumus 2.4.

$$D_2 = \frac{v_{td}^2 - v_o^2}{2a_2} \quad (2.4)$$

$$D_2 = \frac{44,17^2 - 30,87^2}{3,04}$$

$$D_2 = 328.3 \text{ m}$$

Sebab S didapatkan dari rumus 2.5, D_1 didapatkan dari rumus 2.6 dengan mengurangi S dengan D_2 yang sudah dihitung.

$$S = D_1 + D_2 \quad (2.5)$$

$$S = \frac{v_{td}^2 - v_{ut}^2}{2a_1} - \frac{v_{ut}^2 - v_e^2}{2a_2} \quad (2.6)$$

$$D_1 = \frac{v_{td}^2 - v_{ut}^2}{2a_1}$$

$$D_1 = \frac{46.94^2 - 44.17^2}{1.52}$$

$$D_1 = 166.036 \text{ m}$$

Didapatkan S yaitu jarak dari ujung *runway* hingga *exit taxiway* sebesar 483,336 m.

$$S = D_1 + D_2 \quad (2.5)$$

$$S = 328,3 + 155,036$$

$$S = 483.336 \text{ m}$$

Jarak titik *touchdown* ke *exit taxiway* harus ditambahkan faktor koreksi elevasi dan faktor koreksi temperatur. Perpanjangan 3% dilakukan untuk setiap penambahan ketinggian 300 meter dari MSL. Diketahui bahwa elevasi *runway* Bandara Syamsudin Noor berada pada 19,812 diatas MSL. Didapatkan faktor koreksi elevasi sebesar 1.002. Perpanjangan 1% dilakukan untuk setiap kenaikan suhu 5,6°C dari 15°C. Suhu di *runway* adalah 37°C. Didapatkan faktor koreksi suhu 1.039. D2 dikoreksi dengan cara mengalikan nilainya dengan faktor koreksi, didapatkan 530 meter sebagai D2. Jarak *runway* ke *exit taxiway* pun diketahui dengan menambah D1 dengan nilai D2, sehingga didapatkan 1387 meter. Perhitungan asli dilakukan untuk keadaan eksisting dengan pesawat terbesar berada pada kategori *approach* D. Hasilnya pada tabel 4.51 sampai 4.53.

Tabel 4.51: Jarak ujung *runway* ke titik *touchdown* (D1) dan jarak titik *touchdown* ke lokasi *exit taxiway* (D2)

Kategori Pesawat	D1 (m)	D2 (m)		
		Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 90°
A	166	328	502	622
B	857	509	683	803
C	903	938	1111	1231
D	1348	1389	1563	1683

Tabel 4.52: Jarak ujung *runway* ke titik *touchdown* (D1) dan jarak titik *touchdown* ke lokasi *exit taxiway* (D2) terkoreksi

Kategori Pesawat	D1 (m)	D2 (m)		
		Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 90°
A	166	342	523	648
B	837	530	711	836
C	903	976	1157	1282
D	1348	1446	1627	1752

Tabel 4.53: Jarak total ujung *runway* ke lokasi *exit taxiway*

Kategori Pesawat	Jarak Total (m)		
	Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 90°
A	508	689	814
B	1387	1569	1693
C	1879	2060	2185
D	2794	2976	3100

Dipilihlah sudut 30° dengan jarak 2794 meter dari ujung *runway* ke *exit taxiway* sebab jaraknya lebih dekat dari ujung *runway*.

4.3.20. Marka *Taxiway Hold*

Penjabaran tabel 2.12 mensyaratkan jarak marka holdline ke centerline *runway* untuk *runway* rencana adalah 39 m. Garis marka berjumlah empat dengan lebar 15 cm dan spasi memanjang antar garis menerus maupun putus-putus 30 cm. Spasi melintang antar setiap garis putus-putus adalah 90 cm.

4.4. Resume Perbandingan Analisis

Pada tugas akhir ini dianalisis cakupan angin bandara Syamsudin Noor dengan metode berbeda dari tugas akhir sebelumnya. Hasil analisis tugas akhir ini berbeda dari analisis sebelumnya, dan hasilnya ditabelkan dalam tabel 4.54. Diketahui bahwa ketika sumber data dan himpunan tahun berbeda, maka hasil analisis pun berbeda.

Tabel 4.54: Perbedaan Hasil Analisis Tugas Akhir dan Penelitian Sebelumnya

Sumber Data Angin		Hasil Analisis <i>Runway</i> Eksisting Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin	
Habid Ocherudy (2016)	Adhyaksa Adha Rahman (2017)	Habid Ocherudy (2016)	Adhyaksa Adha Rahman (2017)
BMKG, data 2011-2015	FAA Wind Rose Form, data tahun 2006 - 2015	Tidak memenuhi syarat single <i>runway</i> , yaitu cakupan angin pada bentang <i>runway</i> sama atau melebihi 95%	Memenuhi syarat single <i>runway</i> , yaitu cakupan angin pada bentang <i>runway</i> sama atau melebihi 95%

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

EVALUASI KINERJA *RUNWAY* SETELAH PENAMBAHAN

Adanya penambahan *runway* di bandara Syamsudin Noor mengakibatkan manfaat besar dimana pergerakan pesawat dapat dipecah menjadi dua outlet, satu *runway* eksisting dan lainnya *runway* baru. Pembagian pergerakan pesawat pada *runway* didasarkan pada penggunaan terminal Bandara Syamsudin Noor setelah adanya penambahan. Asumsi yang diambil adalah bahwa operasi akan dipisah antara kedua *runway*, dengan terminal berbeda diantara keduanya. *Runway* eksisting dan *runway* baru akan menangani pesawat datang dan berangkat dengan beban masing-masing setengah dari pergerakan pesawat total. Evaluasi di bab ini menganalisis *runway* bandara Syamsudin Noor pada tahun 2043, tahun ketika *runway* kedua dibutuhkan.

5.1 Peramalan Jumlah Pembagian Pergerakan Pesawat

Pada subbab peramalan di bab 4 telah diperhitungkan jumlah pergerakan pesawat pada jam puncak. Tabel 5.1 memaparkan rekapitulasi dari subbab tersebut untuk tahun 2043. Dapat diketahui jumlah pesawat pada jam puncak di tahun 2013 untuk rute kedatangan sejumlah 23 penerbangan dan untuk rute keberangkatan sejumlah 22 penerbangan. Karena pemisahan pergerakan terbagi antara kedua *runway*, maka dapat diketahui bahwa *runway* eksisting akan menangani 11 operasi kedatangan dan 11 operasi keberangkatan. *Runway* rencana akan menangani 12 operasi kedatangan dan 11 operasi keberangkatan. Tabel 5.1 cukup untuk evaluasi *runway* dari sisi pergerakan pesawat.

Tabel 5.1: Peramalan Pergerakan Jam Puncak pada Tahun 2043

Tahun ke-	Tahun	Domestik			Internasional			Total
		Datang	Berangkat	Total	Datang	Berangkat	Total	
33	2043	22	22	44	1	0	0	45

5.2 Perhitungan Kapasitas *Runway* Rencana

Subbab ini membahas perhitungan kapasitas rencana dengan mengetahui jumlah pergerakan dari model regresi dan pemaparan di table 5.1. Ada beberapa asumsi untuk perhitungan kapasitas *runway* rencana. Akan dihitung operasi kedatangan dan keberangkatan untuk *runway*. Dihitung keadaan keberangkatan saja untuk *runway* rencana dengan distribusi pesawat yang datang dan berangkat sama dengan eksisting. Terakhir, distribusi pesawat yang datang dan berangkat akan diasumsi sama dengan distribusi pesawat pada jam puncak pada tahun puncak dari 2011-2015. Maka, perhitungan ini adalah perbandingan kapasitas masing-masing *runway* terhadap pergerakan pesawat maksimum eksisting.

5.2.1 Keadaan Operasi Campuran

Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menghitung kapasitas dengan menganggap bahwa *runway* akan melayani pesawat yang datang dan berangkat dengan cara yang sama pada perhitungan sebelumnya. Didapatkan untuk keadaan operasi campuran kapasitas *runway* adalah 43 kedatangan/jam

5.2.2 Kapasitas *Runway* Rencana dan Eksisting

Dari hasil perhitungan kapasitas rencana, dapat diketahui bahwa kedua *runway* dapat melayani pergerakan pesawat yang diramalkan akan terjadi pada tahun 2043. *Runway* rencana

dengan kapasitas 43 operasi/jam dapat menangani 23 operasi/jam dan *runway* eksisting dengan kapasitas 43 operasi/jam. Keadaan bebas kesalahan dapat melayani 22 operasi/jam.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis perhitungan dalam Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin mempunyai cakupan angin merata di semua arah dengan besaran 0 sampai lebih dari 41 knot. Frekuensi angin terjadi paling banyak pada kondisi calm (0 – 5 knot) menurut ALL WEATHER Wind Rose Form FAA. *Runway* eksisting 10 – 28 Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin memenuhi syarat FAA dengan cakupan (*coverage*) angin sebesar 99,87% menggunakan Airports GIS FAA. Syarat tersebut membuktikan bahwa *runway* eksisting Bandara Syamsudin Noor cukup untuk melayani bandara Syamsudin Noor.
2. Pergerakan pesawat di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin mempunyai jumlah sedikit, yaitu 12042 hingga 15027 pesawat per tahun menurut Angkasa Pura dengan data dari tahun 2011 hingga 2015. Pesawat yang dilayani oleh bandara bervariasi dari Cessna hingga Boeing dengan jadwal pesawat paling padat 15 pergerakan (*landing/takeoff*) pada jam puncak menurut data pergerakan pesawat.
3. *Runway* eksisting mempunyai kapasitas operasi campuran dengan satu kedatangan diantara dua keberangkatan sebesar 43 operasi/jam. *Runway* masih dapat melayani pergerakan pesawat pada jam puncak dengan total 15 operasi/jam.
4. *Runway* tidak dapat melayani pergerakan pesawat pada tahun 2043 untuk total rute kedatangan dan keberangkatan, internasional dan domestik berdasarkan model regresi yang disintesa dengan data pergerakan pesawat tahun 2011-2015.
5. *Runway* kedua akan diletakkan di arah 100 hingga 280 derajat azimuth. Arah tersebut sama dengan arah *runway* eksisting sebab memenuhi cakupan minimum untuk single *runway* menurut FAA dengan persentase 99,97% dibawah

cakupan angin yang dibolehkan untuk melayani pergerakan pesawat pada tahun 2043 dan setelahnya.

6. *Runway* kedua diletakkan pada arah 100 hingga 280 derajat azimuth. Hal ini karena hasil analisis windrose yang menyimpulkan bahwa *runway* 10-28 memenuhi persyaratan cakupan angin menurut FAA. Sebab itu, dipilihlah arah tersebut untuk *runway* rencana, dan karena demikian maka sistem *runway* yang dianut adalah sistem paralel.

7. Untuk menentukan dimensi *runway*, *exit taxiway* dan *taxiway* baru di Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin digunakan pedoman standar FAA dan Dirjen Perhubungan Udara Indonesia. Dimensi yang dibutuhkan akan ditentukan menggunakan tipe pesawat yang paling besar berat *takeoff* dan klasifikasinya dalam pengelompokan *runway* menurut FAA.

8. *Runway* kedua dapat melayani pergerakan pesawat pada jam puncak di tahun 2043 berdua dengan *runway* eksisting berdasarkan perhitungan kapasitas *runway* dengan pola seperti pada jam puncak. *Runway* rencana dan eksisting dengan kapasitas total 86 operasi/jam dapat menangani pergerakan pesawat total pada jam puncak sebanyak 45 operasi/jam.

6.2 Saran

Bandara Syamsudin Noor melayani pergerakan pesawat yang masih dapat ditanggung dengan *runway* eksisting dan kapasitasnya. Pada masa mendatang, tentu kapasitasnya akan dilampaui oleh kenaikan pergerakan pesawat. Saat masa tersebut datang, akan lebih baik apabila *runway* tambahan telah tersedia sehingga pengalihan pergerakan pesawat dapat dilakukan dan pergerakan pesawat dapat ditanggung bandara secara keseluruhan.

LAMPIRAN 1

Daftar Nilai K Rumus Selang Toleransi (Natrella, 2005)

N (jumlah sampel)	90% Kepercayaan			95% Kepercayaan			99% Kepercayaan		
	% Populasi			% Populasi			% Populasi		
	95	99	99,99	95	99	99,99	95	99	99,99
2	18,800	24,167	30,227	37,674	48,430	60,573	188,491	242,300	303,054
3	6,919	8,974	11,309	9,916	12,861	16,208	22,401	29,055	36,616
4	4,943	6,440	8,149	6,370	8,299	10,502	11,150	14,627	18,383
5	4,152	5,423	6,879	5,079	6,634	8,415	7,855	10,260	13,015
6	3,723	4,870	6,188	4,414	5,775	7,337	6,345	8,301	10,548
7	3,452	4,521	5,750	4,007	5,248	6,676	5,488	7,187	9,142
8	3,264	4,278	5,446	3,732	4,891	6,226	4,936	6,468	8,234
9	3,125	4,098	5,220	3,532	4,631	5,899	4,550	5,966	7,600
10	3,018	3,959	5,046	3,379	4,433	5,649	4,265	5,594	7,129
15	2,713	3,562	4,545	2,954	3,878	4,949	3,507	4,605	5,876
20	2,564	3,368	4,300	2,752	3,615	4,614	3,168	4,161	5,312
25	2,474	3,251	4,151	2,631	3,457	4,413	2,972	3,904	4,985
30	2,413	3,170	4,049	2,549	3,350	4,278	2,841	3,733	4,768
35	2,368	3,112	3,974	2,490	3,72	4,179	2,748	3,611	4,611
40	2,334	3,066	3,917	2,445	3,213	4,104	2,677	3,518	4,493
45	2,306	3,030	3,871	2,408	3,165	4,042	2,621	3,444	4,399
50	2,284	3,001	3,833	2,376	3,126	3,996	2,576	3,385	4,323
55	2,265	2,976	3,801	2,354	3,094	3,951	2,538	3,335	4,260
60	2,235	2,955	3,774	2,333	3,066	3,916	2,506	3,293	4,206
65	2,235	2,937	3,751	2,315	3,042	3,886	2,478	3,257	4,160
70	2,222	2,920	3,730	2,299	3,021	3,859	2,454	3,225	4,120
75	2,211	2,906	3,712	2,285	3,002	3,853	2,433	3,197	4,084
80	2,202	2,894	3,696	2,272	2,986	3,814	2,414	3,173	4,053
85	2,193	2,882	3,682	2,261	2,971	3,795	2,397	3,150	4,024
90	2,185	2,872	3,669	2,251	2,958	3,778	2,382	3,130	3,999
95	2,178	2,863	3,657	2,241	2,945	3,763	2,368	3,112	3,976
100	2,172	2,854	3,646	2,233	2,934	3,748	2,355	3,096	3,954
110	2,160	2,839	3,626	2,218	2,915	3,723	2,333	3,066	3,917
120	2,150	2,826	3,610	2,205	2,898	3,702	2,314	3,041	3,885
130	2,141	2,814	3,595	2,194	2,883	3,683	2,298	3,019	3,857
140	2,134	2,804	3,584	2,184	2,870	3,666	2,283	3,000	3,833
150	2,127	2,795	3,571	2,175	2,859	3,652	2,270	2,983	3,811

160	2,121	2,787	3,561	2,167	2,848	3,638	2,259	2,968	3,792
170	2,116	2,780	3,552	2,160	2,839	3,527	2,248	2,955	3,774
180	2,111	2,774	3,543	2,154	2,831	3,616	2,239	2,942	3,759
190	2,106	2,768	3,536	2,148	2,823	3,606	2,230	2,931	3,744
200	2,102	2,762	3,529	2,143	2,816	3,597	2,222	2,921	3,731
300	2,073	2,725	3,481	2,106	2,767	3,535	2,169	2,850	3,641
400	2,057	2,703	3,453	2,084	2,739	3,499	2,138	2,809	3,589
500	2,046	2,689	3,434	2,070	2,721	3,475	2,117	2,783	3,555
600	2,038	2,678	3,421	2,060	2,707	3,458	2,102	2,763	3,530
700	2,032	2,670	3,411	2,052	2,697	3,445	2,091	2,748	3,511
800	2,027	2,663	3,402	2,046	2,688	3,434	2,082	2,736	3,495
900	2,023	2,658	3,396	2,040	2,682	3,426	2,075	2,726	3,483
1000	2,019	2,654	3,390	2,036	2,676	3,418	2,068	2,718	3,472
Inf.	1,960	2,576	3,291	1,960	2,576	3,291	1,960	2,576	3,291

Lampiran 2

Runway Occupancy Time Pesawat di Bandara Internasional Juanda (Simanjuntak, 2016)

Sudut 90°			
Tipe Pesawat	Approach (m)	Landing Distance (m)	ROT (detik)
B737	1400	1605	57,9
B738	1600	1834	57,9
B739	1700	1948	57,9
A320	1440	1650	57,9
ATR 72	1100	1261	49,6
B734	1500	1719	57,9
B735	1400	1605	57,9
MD82	1585	1817	57,9
B733	1400	1605	57,9
B744	2130	2441	66,8
A333	1700	1948	57,9
A332	1800	2063	57,9
B772	1700	1948	57,9
A321	1600	1834	57,9
CRJX	1560	1788	57,9
GLEK	814	933	57,9
E195	1260	1444	57,9
GLF5	884	1013	57,9

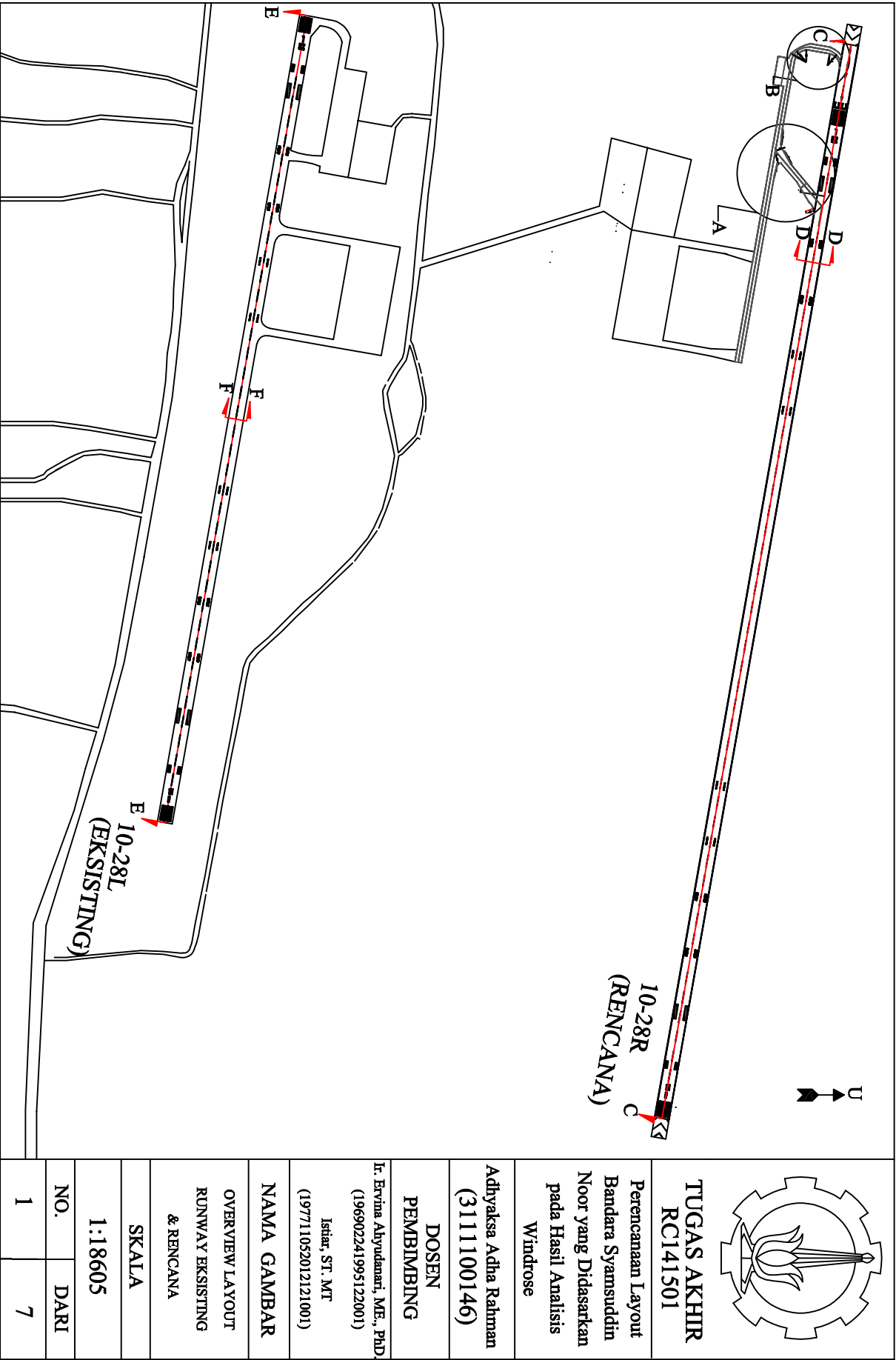
Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Lampiran 3: Perbandingan Data Angin FAA Windrose File Generator dan BMKG
Data Windrose File Generator FAA:

Arah	Kejadian Angin pada Kecepatan per Jam (knot)							Total
	0-10	16-11	17-21	22-27	28-33	34-40	>41	
10	1.453%	0.005%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%	1.461%
20	2.339%	0.002%	0.000%	0.000%	0.002%	0.000%	0.005%	2.347%
30	3.024%	0.005%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	3.029%
40	2.815%	0.005%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.820%
50	2.311%	0.003%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.315%
60	1.873%	0.013%	0.003%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.890%
70	1.542%	0.016%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.559%
80	1.464%	0.042%	0.000%	0.000%	0.002%	0.000%	0.000%	1.507%
90	1.902%	0.140%	0.006%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.049%
100	2.225%	0.283%	0.008%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.516%
110	1.581%	0.231%	0.006%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.819%
120	1.912%	0.255%	0.005%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.172%
130	1.853%	0.119%	0.002%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	1.975%
140	1.875%	0.055%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.930%
150	2.153%	0.058%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.211%
160	2.336%	0.063%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.401%
170	2.470%	0.092%	0.002%	0.000%	0.003%	0.000%	0.000%	2.566%
180	2.704%	0.100%	0.003%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	2.809%
190	1.875%	0.071%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.947%
200	2.307%	0.087%	0.003%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	2.399%
210	1.684%	0.080%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.764%
220	1.883%	0.119%	0.002%	0.000%	0.000%	0.002%	0.000%	2.005%
230	1.817%	0.146%	0.000%	0.000%	0.002%	0.000%	0.000%	1.965%
240	1.668%	0.193%	0.006%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.867%
250	1.591%	0.196%	0.011%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	1.800%
260	1.322%	0.111%	0.008%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.441%
270	1.242%	0.072%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.316%
280	1.146%	0.053%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.200%
290	0.924%	0.042%	0.005%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.970%
300	1.277%	0.037%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.314%
310	0.856%	0.016%	0.000%	0.002%	0.000%	0.000%	0.002%	0.876%
320	1.268%	0.021%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.290%
330	1.224%	0.016%	0.002%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	1.244%
340	1.232%	0.010%	0.000%	0.000%	0.002%	0.000%	0.000%	1.244%
350	1.462%	0.014%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%	1.478%
360	0.930%	0.006%	0.005%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.942%
Calm	33.564%							
Total	97.106%	2.775%	0.088%	0.010%	0.010%	0.002%	0.010%	66.436%
	100%							

DATA BMKG:

Arah	Kecepatan Angin (knot)					Total
	0-10	11-16	17-21	22-27	>28	
N	2,46%			0,25%		2,71%
NE	1,72%	0,99%	0,25%	0,25%		3,20%
E	0,49%	4,43%	4,43%			9,36%
SE	13,55%	6,90%	7,14%	5,91%	0,25%	33,74%
S	3,20%	5,67%	5,91%	0,25%	0,49%	15,52%
SW	4,43%	7,14%	0,74%	0,99%		13,30%
W	3,20%	5,17%	5,42%		0,25%	14,04%
NW	5,67%	2,22%	0,25%			8,13%
Jumlah	34,73%	32,51%	24,14%	7,64%	0,99%	100%



POTONGAN MEMANJANG
RUNWAY 10-28 R RENCANA
(POTONGAN C - C)

TOUCHDOWN
ZONE

1/3 RUNWAY

STA	0+000	0+200	0+400	0+600	0+800	1+000	1+200	1+400	1+600	1+800	2+000	2+200	2+400	2+600	
ELEVASI STA (MDPL)	19,812	19,812	19,812	19,812	19,812	21,412	21,412	21,412	21,412	21,412	21,412	21,412	21,412	19,812	
JARAK ANTAR STA (M)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0,8		

TOUCHDOWN
ZONE

STA	2+600	2+800	3+000	3+200	3+326	
ELEVASI STA (MDPL)	19,812	19,812	19,812	19,812	19,812	
JARAK ANTAR STA (M)		200	200	126		
		0	0	0		

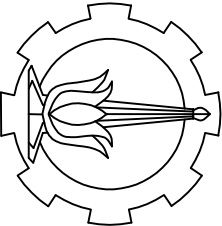
POTONGAN MEMANJANG
RUNWAY 10-28 L EKSISTING
(POTONGAN E - E)

1/3 RUNWAY

STA	0+000	0+200	0+400	0+600	0+800	1+000	1+200	1+400	1+600	1+800	2+000	2+200	2+400	2+600	
ELEVASI STA (MDPL)	19,812	19,812	19,970	19,970	19,811	20,128	20,128	20,289	20,289	20,126	20,126	20,126	20,126	19,965	
JARAK ANTAR STA (M)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200		
	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0,8		

1/3 RUNWAY

STA	2+600	2+800	3+200		
ELEVASI STA (MDPL)	19,965	19,965	19,965		
JARAK ANTAR STA (M)	200	200			
	0	0			



TUGAS AKHIR
RC141501

Perencanaan Layout
Bandara Syamsuddin
Noor yang Didasarkan
pada Hasil Analisis
Windrose

Adhyaksa Adha Rahman
(3111100146)

DOSEN
PEMBIMBING
Ir. Evrima Ahyudanari, ME., PhD.
(196902241995122001)
Istiaq, ST. MT
(197711052012121001)

NAMA GAMBAR
POTONGAN MEMANJANG
RUNWAY RENCANA 10-28R
& EKSISTING 10-28L

SKALA
VERTIKAL 1:994
HORIZONTAL 1:15038

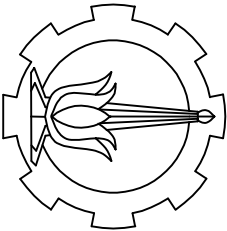
NO. DARI
2 7

JARAK (M)	120	7,5	22,5	22,5	7,5	120	6,5	12,5	12,5	6,5
KEMIRINGAN (%)	4%	4%	2,5%	2%	2%	2,5%	4%	2,5%	2%	2,5%

POTONGAN MELINTANG RUNWAY 10-28L EKSISTING (POTONGAN D - D)

JARAK (M)	120	7,5	22,5	22,5	7,5	120	5	7,5	7,5	5
KEMIRINGAN (%)	4%	4%	2%	2%	2%	4%	2%	2%	2%	2%

POTONGAN MELINTANG RUNWAY 10-28R RENCANA (POTONGAN F - F)



TUGAS AKHIR

RC141501

Perencanaan Layout
 Bandara Syamsuddin
 Noor yang Didasarkan
 pada Hasil Analisis
 Windrose

Adhyaksa Adha Rahmat
 (3111100146)

DOSEN
 PEMBIMBING
 Ir. Eryina Abiyudhanji, ME, Ph
 (196902241995122001)
 Ishar, ST. MT
 (197711052012121001)

NAMA GAMBAR

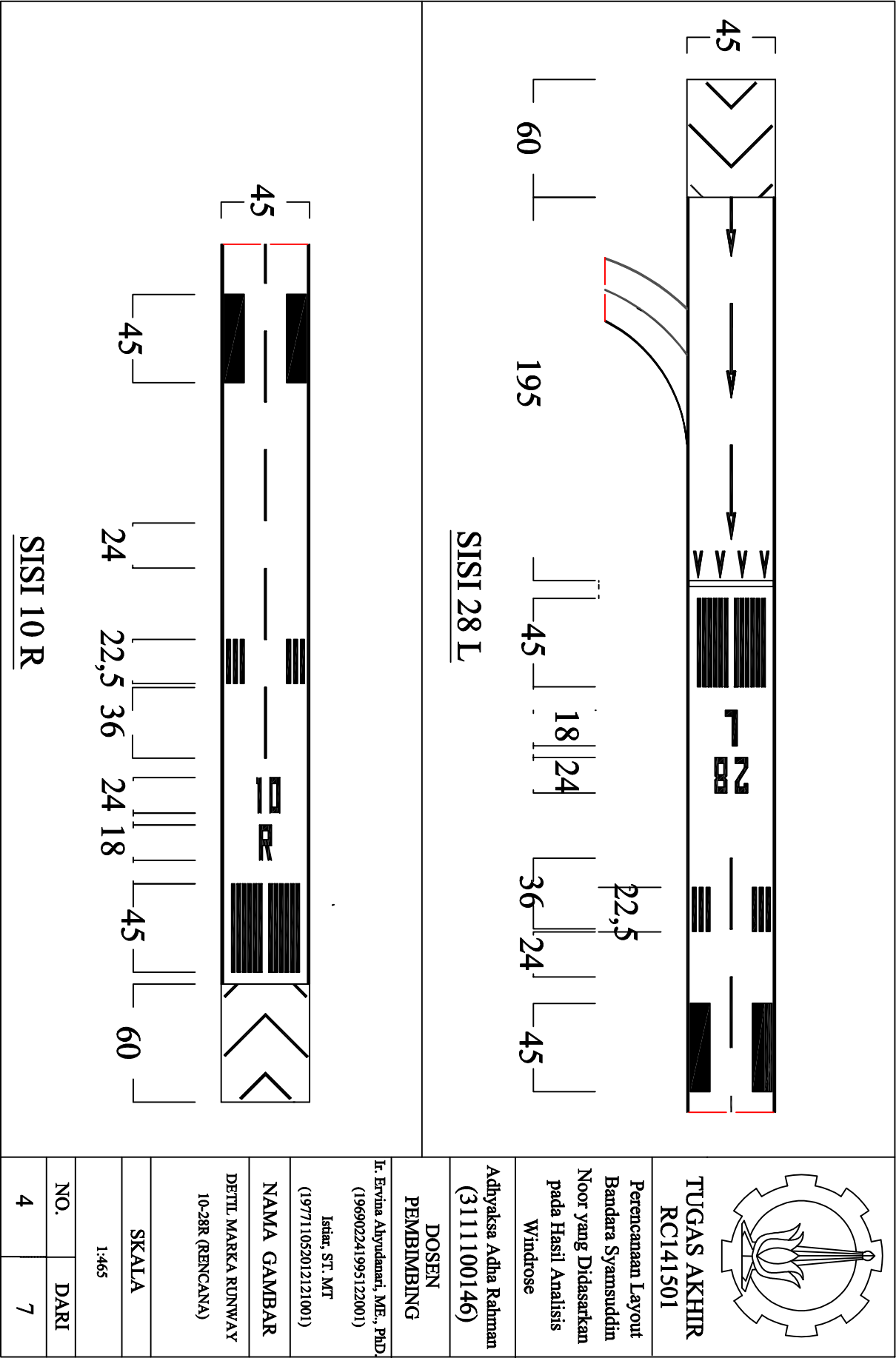
OVERVIEW LAYOUT
RUNWAY EKSISTING
& RENCANA

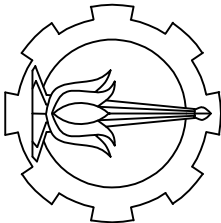
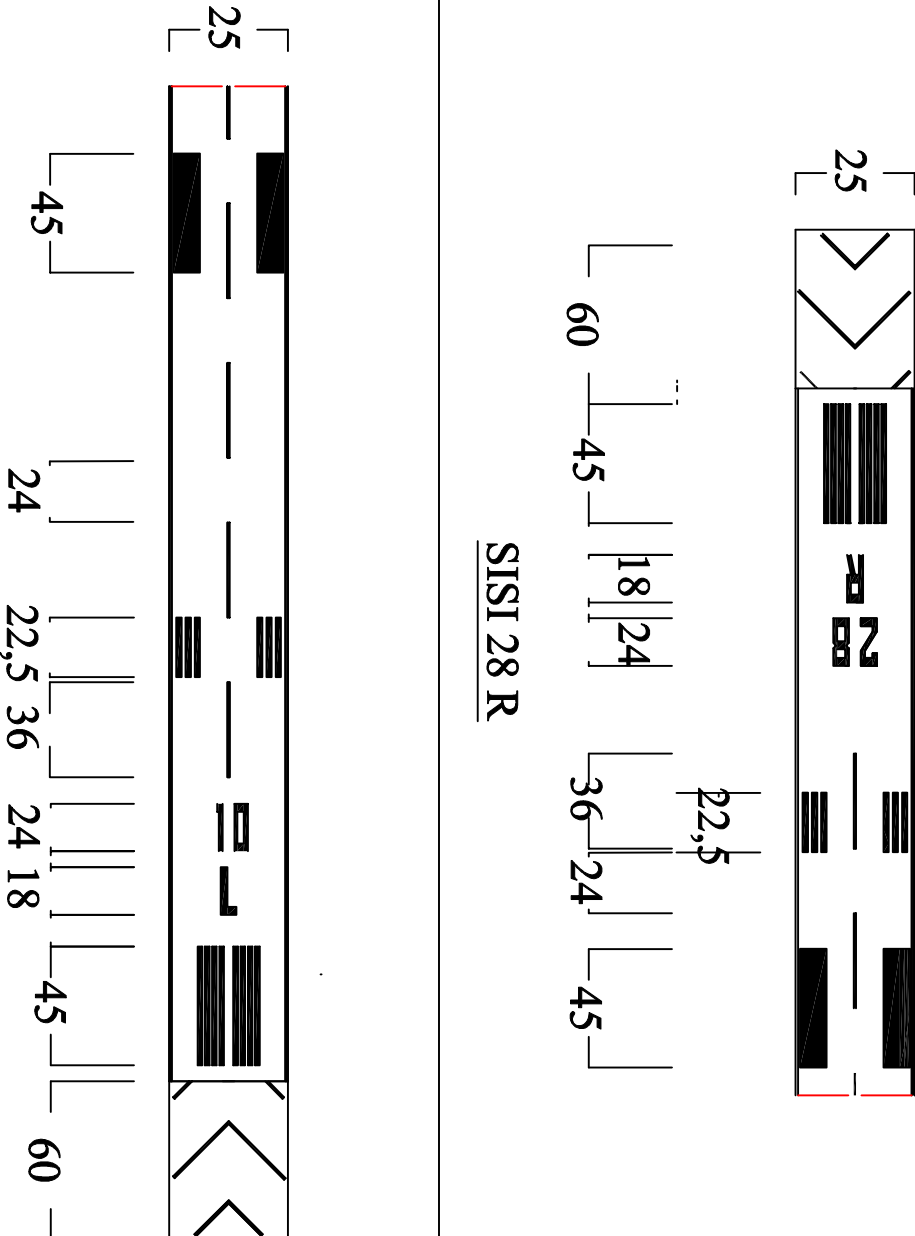
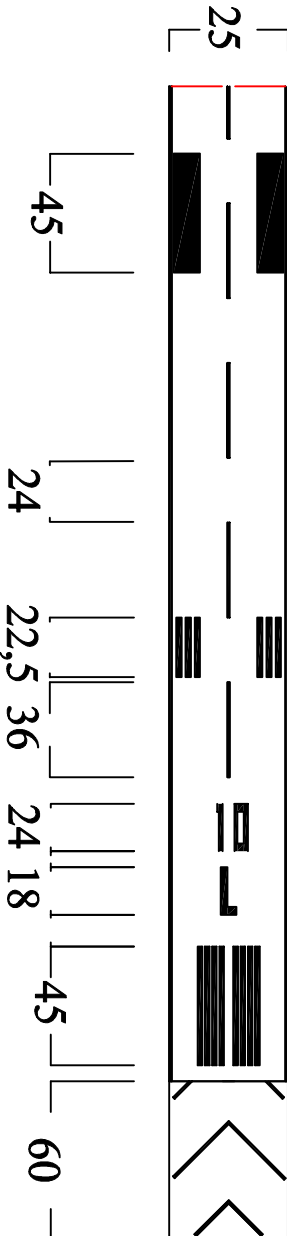
SKALA

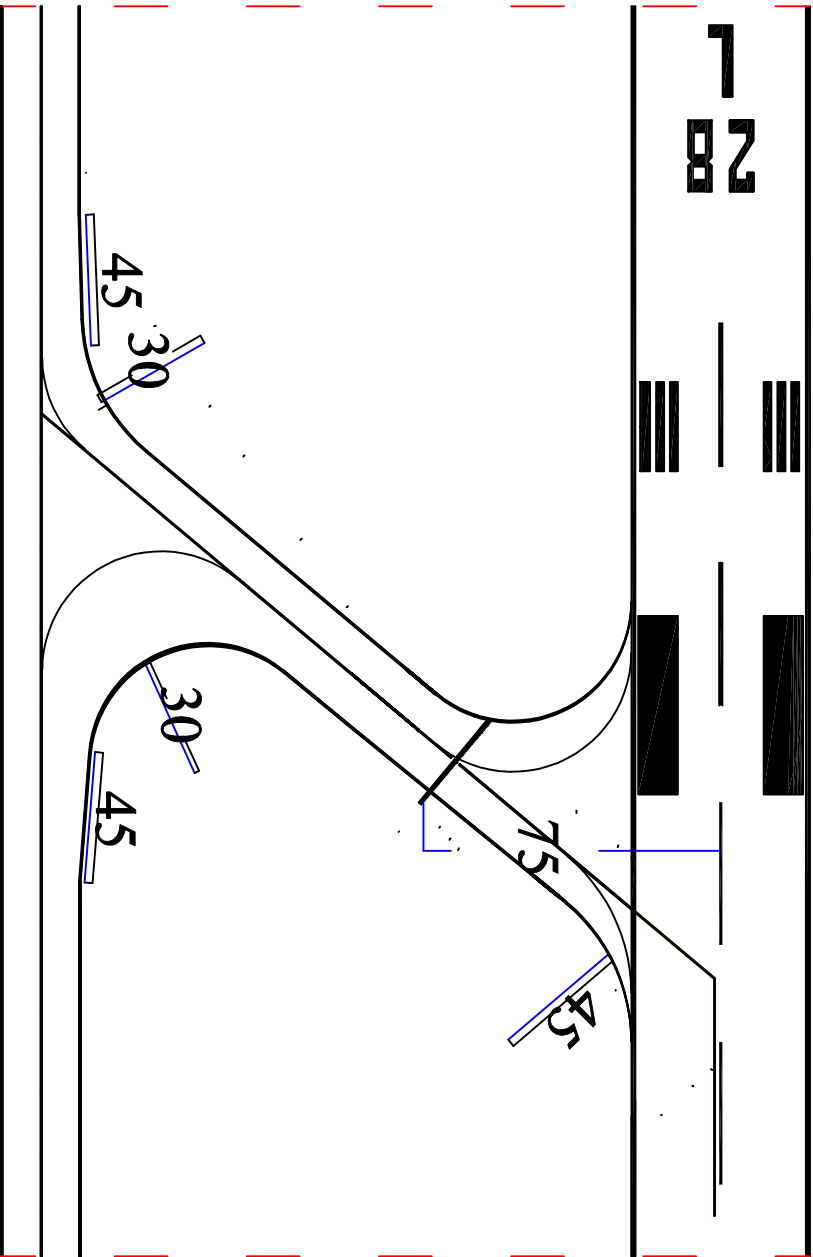
VERTIKAL 1:2714
 HORIZONTAL 1:1791

NO. DARI

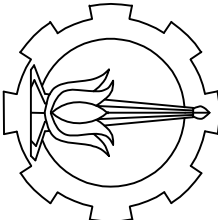
3 7

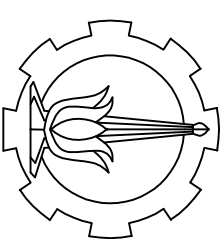


 <p>TUGAS AKHIR RC141501</p> <p>Perencanaan Layout Bandara Syamsuddin Noor yang Didasarkan pada Hasil Analisis Windrose</p> <p>Adhyaksa Adha Rahman (3111100146)</p> <p>DOSEN PEMBIMBING</p> <p>Ir. Eryina Ahyudanari, ME., PhD (196902241995122001) Istier, ST. MT (197711052012121001)</p> <p>NAMA GAMBAR</p> <p>DETL MARKA RUNWAY 10-28L (EKISTING)</p> <p>SKALA 1:465</p> <table><tr><td>NO.</td><td>DARI</td></tr><tr><td>5</td><td>7</td></tr></table>	NO.	DARI	5	7	 <p>SISI 28 R</p>
NO.	DARI				
5	7				
	 <p>SISI 10 L</p>				



DETAIL A

		TUGAS AKHIR RC141501	
Perencanaan Layout Bandara Syamsuddin Noor yang Didasarkan pada Hasil Analisis Windrose		Adhyaksa Adha Rahman (3111100146)	
DOSEN PEMBIMBING		It. Eryina Atyudanari, ME., PhD. (196902241995122001) Istifar, ST. MT (197711052012121001)	
NAMA GAMBAR		DETAIL TAXIWAY A	
SKALA		1:522	
NO.	DARI	7	7



TUGAS AKHIR
RC141501

Perencanaan Layout
Bandara Syamsuddin
Noor yang Didasarkan
pada Hasil Analisis
Windrose

Adhyaksa Adha Rahman
(3111100146)

DOSEN
PEMBIMBING
Ir. Eryina Ahyudanari, ME., PhD.
(196902241995122001)

Istiaf, ST. MT
(197711052012121001)

NAMA GAMBAR

DETAIL TAXIWAY A & B

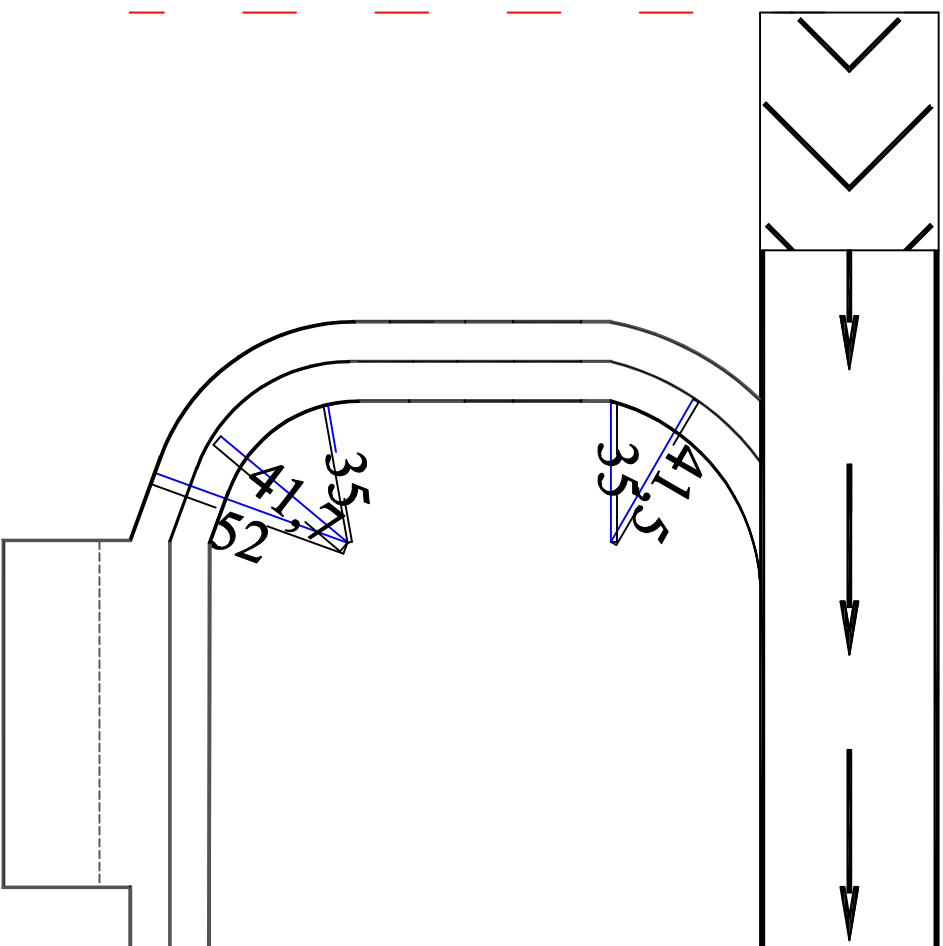
DETAIL APRON

SKALA

1:522

NO.	DARI
-----	------

6	7
---	---



DETAIL B

DAFTAR PUSTAKA

Angkasa Pura, “Spesifikasi Bandara”, 9 November 2016, <https://syamsudinnoor-airport.co.id/spesifikasi-bandara>.

Airline Transport Professionals (2013), Cessna 172 Training Supplement.

ATR (2014), ATR DC/E September 2014.

Boeing Commercial Aiplanes, 2013. 737 Airplane Characteristics for Airport Planning.

Boeing, “FAA Reference Code and Approach Speeds for Boeing Aircraft”, 9 November 2016, <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/faqs/arcandapproachspeeds.pdf>.

Boeing, “Boeing 737 Limitations”. 27 Juli 2017, http://www.b737.org.uk/limitations.htm#Wind_Limits.

Direktorat Jenderal Perhubungan (2005), Persyaratan Teknis Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara, Pub. L. No. SKEP 77-VI-2005

Federal Aviation Administration, “Wind Rose Form”, 23 Juni 2017. <https://airports-gis.faa.gov/windRose/>.

Federal Aviation Administration, “ALL_WEATHER Wind Rose Form”, 23 Juni 2017, <https://airports-gis.faa.gov/agis/publicToolbox/windroseForm.jsp>.

Federal Aviation Administration. (2014). Advisory Circular 150/5300-13A Airport Design, U.S. Department of Transportation.

Federal Aviation Administration. (2005). Advisory Circular 150/5340-1J Standards for Airport Markings, U.S. Department of Transportation.

Federal Aviation Administration. (1983). Airport Capacity and Delay, Washington D.C.; U.S. Department of Transportation.

Flightstats, “Historical Flight Status”, 9 November 2016, <http://www.flightstats.com/go/HistoricalFlightStatus/flightStatusByFlight.do>

Horonjeff, R. and F. X. M. (2010). Planning & Design of Airports (Fifth Edit). New York: Mc Graw Hill, Inc.

International Civil Aviation Organization (1987), Airport Planning Manual.

International Civil Aviation Organization (1984), Aerodrome Design Manual.

Natrella, Mary (2005). Experimental Statistics. Dover Publications.

Ocherudy, Habid (2016). Evaluasi Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarmasin Dalam Memfasilitasi Pertumbuhan Pergerakan Pesawat. Surabaya: ITS Press.

Sembiring R.K (2003), Analisis Regresi, Bandung; Penerbit ITB.

Wikipedia, “Bandar Udara Syamsudin Noor”, 23 Juni 2017, https://id.wikipedia.org/wiki/Bandar_Udara_Syamsudin_Noor.



Adhyaksa Adha Rahman,

Penulis dilahirkan di Surakarta, 31 Mei 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Azhar 3 (Cirebon), SDI Al-Azhar 3 (Cirebon), SDI Al-Azhar 4 (Jakarta), SMPN 19 (Jakarta), SMAN 70 (Jakarta). Setelah lulus dari SMAN 70 Jakarta tahun 2011, Penulis mengikuti ujian mandiri ITS dan diterima di Departemen S-I Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 3111 100 146. Di departemen Teknik Sipil penulis mengambil bidang studi Perhubungan. Penulis pernah aktif dalam beberapa UKM di ITS, divisi CECC di HMS ITS, serta beberapa seminar oleh BEM, departemen Teknik Sipil, dan IO ITS. Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan.